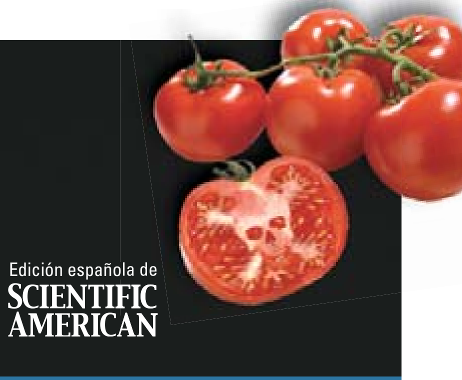
NOVIEMBRE 2007

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN



¿QUE COMER? Recomendaciones para una dieta sana

OBESIDAD ¿Por qué engordamos?

NUTRIGENOMICA Interacción entre genes y dieta

TRANSGENICOS ¿La nueva revolución verde?

www.investigacionyciencia.es

6,00 EUROS

NUMERO MONOGRAFICO

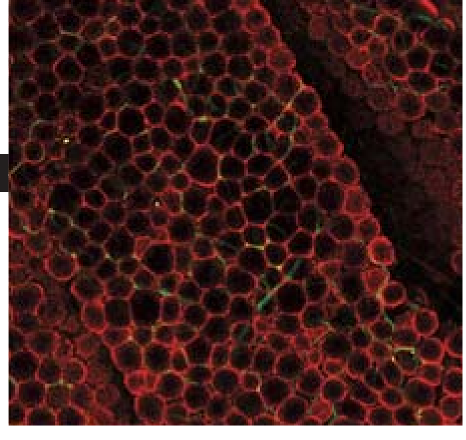
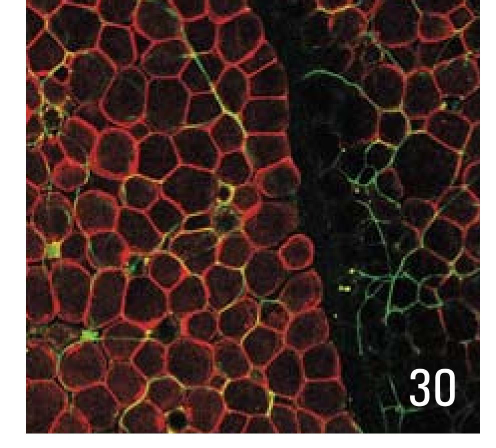
SACIEDAD Y HAMBRUNA

Obesidad y malnutrición, una paradoja global

00374
9 770210 136004

SUMARIO

Noviembre de 2007 / Número 374

El exceso de energía ingerida se almacena en forma de triglicéridos en los adipocitos.



La ciencia de la nutrición y los consejos dietéticos pueden resultar desconcertantes.

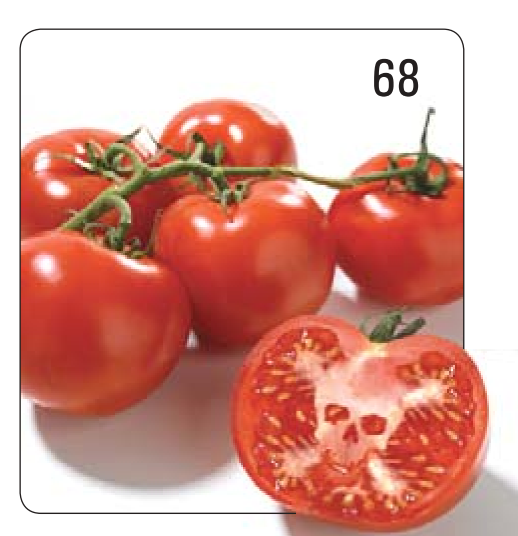


Los cambios recientes en el modo de alimentarse hacen que cunda la obesidad aun en los países pobres.

ARTICULOS



Hambre, obesidad e incertidumbre dietética: un mundo desorientado y confuso.



Nuevos sistemas de protección alimentaria.



Cientos de millones de personas siguen hambrientas pese a que no faltan alimentos.

SECCIONES

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.ª Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
Laia Torres Casas
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero
EDITA Prensa Científica, S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
CHIEF NEWS EDITOR Philip M. Yam
SENIOR WRITER Gary Stix
SENIOR EDITOR Michelle Press
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, George Musser y Christine Soares
CONTRIBUTING EDITORS W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Michael Shermer, Sarah Simpson
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

CHAIRMAN Brian Napack
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL Dean Sanderson
VICE PRESIDENT Frances Newburg
GENERAL MANAGER Michael Florek

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca
Trigo, 39, Edif. 2
28914 Leganés (Madrid)
Teléfono 914 819 800

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona

PUBLICIDAD

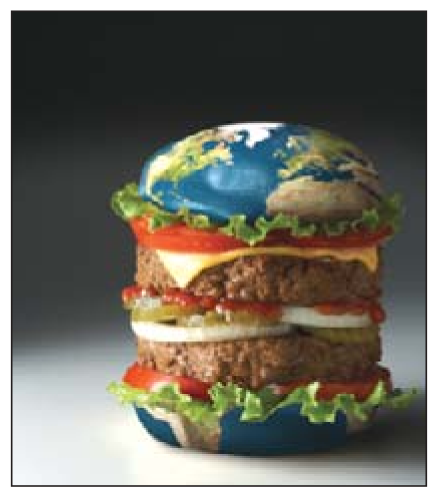
Madrid:
MMCATALAN PUBLICIDAD
M. Mercedes Catalán Rojas
Recoletos, 11 3.º D
28001 Madrid
Tel. y fax 915 759 278
Móvil 649 933 834

Cataluña:
QUERALTO COMUNICACION
Julián Queraltó
Sant Antoni M.ª Claret, 281 4.º 3.ª
08041 Barcelona
Tel. y fax 933 524 532
Móvil 629 555 703

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *El sustento del mundo*, *Hambre, todavía*, *Alimentos contaminados*, *Puesta al día* y *Apuntes*; Marián Beltrán: *Dietética elemental*, *El cerebro y la comida*, *Desarrollo sostenible* y *Ciencia y sociedad*; Juan Manuel González Mañas: *¿Por qué engordamos?*; Anna Ferran: *Agricultura transgénica*; Bruno Moreno: *Apuntes*; J. Vilardell: *Hace...* e *Ideas aplicadas*; Jürgen Goicoechea: *Curiosidades de la física*



Portada: Ken Brown (*ilustración*), James Porto (*fotografía y fotocomposición*) y Brett Kurzweil

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	65,00 euro	120,00 euro
Resto del mundo	100,00 euro	190,00 euro

Ejemplares sueltos:

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.



ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Imprime Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

...cincuenta años

Empieza la era espacial. «El primer satélite de la Tierra hecho por la mano del hombre, de nombre sputnik (“compañero de viaje”, en ruso), empezó a navegar por el espacio alrededor de la medianoche del cuatro de octubre (hora de Moscú). La URSS no anunció el lanzamiento por adelantado, y durante los primeros días de vuelo se facilitó poca información al resto del mundo. El “ave” en sí era una esfera de 58 centímetros de diámetro con dos radiotrasmisores a bordo. No se supo si llevaba además otros instrumentos. Aunque científicos soviéticos afirmaron que el satélite estuvo tomando temperaturas, expertos estadounidenses dijeron estar seguros de que estuvo transmitiendo señales codificadas.»

Probabilidad subjetiva. «No hay un único aspecto de nuestra existencia más cargado de ansiedad o fe inquebrantable que el juego de lanzar una moneda al aire. Los experimentos sobre la probabilidad subjetiva nos permiten atisbar en la mente del jugador. Este parece incapaz de disociar su predicción sobre un evento de lo que resultó en eventos similares pasados, aunque en cierto modo “sepan” que el nuevo evento es por completo independiente de esos resultados anteriores. Al igual que muchos niños, propende a tratar con la buena suerte y la mala suerte como si de éstas hubieran unas reservas que pudieran agotarse, y a creer que el éxito de una conjetura se debe a la posesión de alguna misteriosa perspicacia o poder oculto que actúa como una varita de zahorí.»

...cien años

El valor de una carretera. «Las buenas carreteras del valle del Mississippi rinden más beneficios que las de cualquier otro lugar del país, debido al vivo contraste entre éstas y los míseros caminos naturales. En esa zona la revalorización de las fincas situadas al borde de las carreteras asfaltadas ha llegado hasta el sesenta por ciento; en la actualidad numerosas y pujantes ciudades nuevas están realizando esfuerzos vigorosos para atraer colonos e inversores mediante la mejora de las vías de comunicación. Se ha comprobado que el aumento de la fiscalidad sobre el transporte rodado constituye todo un acierto si se desea afianzar unos valores más altos de los bienes raíces.»

Los veloces autos de último modelo dejan muy a la zaga a los fatigados policías ciclistas, 1907.

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. XCVII, N.º 19, 9 DE NOVIEMBRE DE 1907

Autos perfectos. «En las dos exposiciones automovilísticas de otoño nada indica con tanta seguridad que el automóvil ha llegado a la etapa final de su desarrollo como el hecho de que los modelos novedosos destacan precisamente por su ausencia. Aparte del buggy y del automóvil bimotor, muy poco hay entre las máquinas exhibidas que pueda calificarse de innovación radical respecto a lo imperante entre los distintos modelos (*ilustración*).»

Miedo a los perros. «Los perros esquimales sirven sólo para el transporte invernal. Años de entrenamiento han hecho de esa bestia salvaje un excelente perro de trineo, capaz de realizar magníficos trayectos. Pero nunca ha dejado de ser un animal salvaje, tan feroz como el lobo. Cada año llegan noticias de sus ataques letales. El invierno pasado, durante un viaje en trineo, que se prolongó por culpa de una ventisca de nieve, la jauría de canes cayó sobre sus conductores y devoró a toda la familia. Durante más de un año el doctor Grenfell ha estado afanándose en promocionar la introducción del reno lapón en Terranova y Labrador, que sustituyeran a fieras tan traicioneras. El reno proporcionaría a la población alimento (leche y carne), amén de un transporte mejor.»

...ciento cincuenta años

Mal dadas. «La reciente crisis financiera, que tan súbitamente se ha abatido sobre nosotros, ha tenido unas consecuencias desastrosas para la industria de la nación. Las labores de manufactura se han paralizado; nadie salvo los testigos directos tiene una idea de su estado de completa y abrumadora postración. Las fábricas están cerradas, apagados los fuegos de las forjas; silentes los martillos, las sierras, los husos y los telares. Los hombres pasean por las calles con la angustia y la inquietud grabadas en el semblante, puesto que, pese a la voluntad de su ánimo y a la disposición de sus manos, no hay trabajo para ellos.»

Leviatán. «Se ha intentado botar en el río Támesis, Londres, el *Great Eastern*, un colosal barco de vapor. Fue la primera y única tentativa, pues fracasaron los esfuerzos por arrastrarlo más allá de un metro o metro y medio. El gigantesco buque, que habría sido un “monstruo del mar”, permanece tan inmóvil como antes, si no más, en la orilla del río. Cuando parecía que se había deslizado un metro más o menos, los operarios del cabestrante, imprudentes, trataron de sujetarlo; pero la pesada manivela de hierro se puso a girar como un rayo, golpeándolos y proyectando al aire a cinco o seis, cual si hubieran sido alcanzados por una potente explosión.»

[NOTA DE LA REDACCION: En el accidente murieron dos hombres; el barco no fue botado hasta el 31 de enero de 1858.]

¿Qué ha sido de ...?

Philip Yam

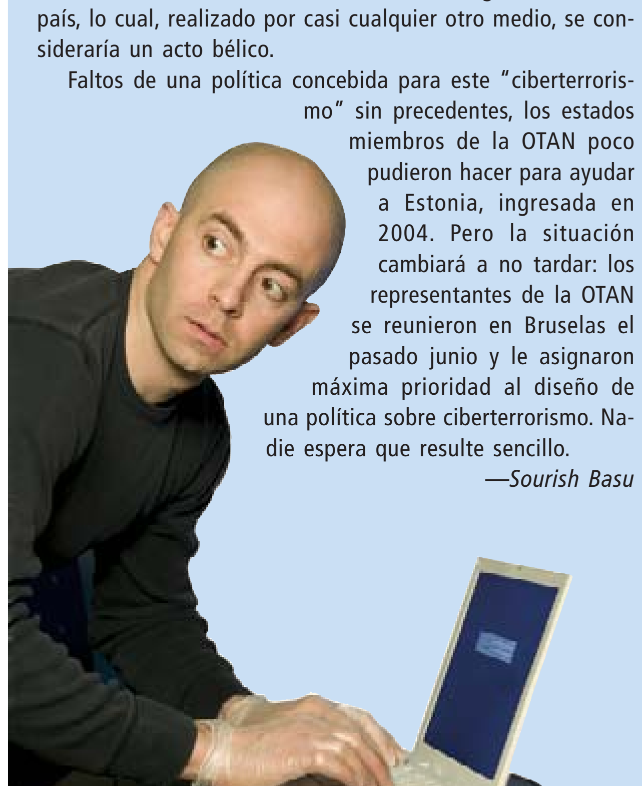
Por sorpresa

¿Es lo mismo bombardear una base aérea que inutilizar su sistema informático? Una y otra cosas dejan lisiada la base, pero ¿se puede calificar de acto bélico a un ataque mediante programas informáticos? Eso es lo que la OTAN necesita decidir con prontitud, tras el primer ciberataque identificado como tal contra Estonia, uno de sus estados miembros.

Fueron muchas las sedes de la Red pertenecientes a instituciones gubernamentales y a entidades bancarias de ese país que el pasado mes de abril sufrieron virulentos ataques informáticos, orquestados, ostensiblemente, por la diáspora rusa de diversos países y por la población rusa, minoritaria, que reside en Estonia. La protesta se debía, al parecer, a la decisión del gobierno estonio de trasladar un monumento soviético de la Segunda Guerra Mundial desde el centro de Tallin, capital del país, a un cementerio de guerra. Los atacantes secuestraron millones de ordenadores en todo el mundo mediante la infiltración subrepticia de unos programas llamados "bots", que luchan "cuerpo a cuerpo" por el control de las máquinas, y pueden trocarlas sin que lo advierta la infantería para la guerra cibernética. Los ordenadores sobrecargaron entonces los servidores de Estonia con falsas peticiones de servicio. Esa invasión hacía pensar en los ataques Red Code de 2001, que desplegaron cerca de un millón de "bots" [*véase* "Alerta roja en la Red", en INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2001]. En esta ocasión, el ejército de silicio apuntaba exclusivamente a la infraestructura de gobierno de un país, lo cual, realizado por casi cualquier otro medio, se consideraría un acto bélico.

Faltos de una política concebida para este "ciberterrorismo" sin precedentes, los estados miembros de la OTAN poco pudieron hacer para ayudar a Estonia, ingresada en 2004. Pero la situación cambiará a no tardar: los representantes de la OTAN se reunieron en Bruselas el pasado junio y le asignaron máxima prioridad al diseño de una política sobre ciberterrorismo. Nadie espera que resulte sencillo.

—*Sourish Basu*



Sobrevivir a un supervolcán

Una erupción supervolcánica puede ser la respuesta al golpe de un pequeño asteroide que hace impacto en la Tierra [*véase* "Supervolcanes" en INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2006]. Se ha conjeturado que esos inusitados cataclismos geológicos vomitarían cenizas suficientes para afectar al clima y para eliminar por completo las poblaciones locales. Pero análisis recientes de los residuos de una erupción supervolcánica acontecida hace 74.000 años en Toba (Indonesia) —la mayor de los dos últimos millones de años— sugieren que los humanos primitivos no se vieron aniquilados, según se reseña en *Science* de 6 de julio. El equipo investigador ha descubierto en un yacimiento de India meridional hachas de piedra datadas en fechas anteriores así como posteriores a la explosión de Toba. En esas hachas se aprecia continuidad técnica, lo que indica que los moradores locales sobrevivieron a la liberación de 2800 kilómetros cúbicos de magma y de 800 kilómetros cúbicos de cenizas que se produjo en las cercanías.

Alternativa al etanol

El 2,5-dimetilfurano (DMF), biocombustible que se obtiene por adición de ácidos a glucosa o fructosa, posee un poder energético un 40 por ciento mayor que el etanol, casi a la par con la gasolina [*véase* "¿Llegará lejos el etanol?", en INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2007]. A diferencia del etanol, este compuesto no se contamina por la absorción del agua presente en el aire. Pero ha resultado dificultoso desembarazarse de un compuesto intermedio que se forma en la reacción del DMF, el 5-hidroximetilfurfural (HMF), porque éste reacciona con los azúcares restantes antes de que lo haga el ácido. En el número de 21 de junio de *Nature*, ingenieros de la Universidad de Wisconsin-Madison exponen que la adición de hidrocarburo líquido atrae rápidamente hacia sí al HMF. El hidrógeno y otro catalizador convierten luego al HMF en DMF. Tales reacciones catalíticas resultan más sencillas y eficientes que los métodos de fermentación utilizados en la producción de etanol. No obstante, todavía están por valorar los efectos ambientales del DMF.

Gatos al poder

Análisis genéticos han revelado cómo han ido los felinos abriéndose paso por el mundo a fuerza de garras [*véase* "Evolución de los felinos", en INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2007]. El último estudio de ADN concluye que los 600 millones de gatos domésticos hoy existentes descienden de cinco linajes maternos de un gato salvaje del Cercano Oriente, *Felis silvestris lybica*, entre cuyos parientes modernos se cuenta el gato montés de Escocia (*fotografía*). El estudio, publicado en Internet por *Science Express*, confirma que la domesticación de los felinos aconteció en el Creciente Fértil hace unos 10.000 años, cuando los humanos comenzaron la agricultura y debieron recurrir a los gatos para controlar a los roedores que les robaban el grano.



MATTHIAS KULKA *zefa/Corbis* (*inyector*); LAWRENCE MANNING *Corbis* (*matraz*); EMILY HARRISON (*fotocomposición*); ALAN MARSH *Design Pics/Corbis* (*pirata*); EWAN MACDONALD (*gato*)

GEOLOGIA

Un tsunami en el Mediterráneo

Pensaban los arqueólogos que Atlit-Yam, una aldea de pescadores hoy sumergida frente a la costa de Israel, fue arrasada hará unos 8000 años por gentes de poblados vecinos. Unos geólogos italianos han aportado pruebas de que la causa pudo ser natural y mucho más espectacular: un tsunami creado por el hundimiento de la ladera oriental del Etna. Los mismos investigadores habían descrito con anterioridad este desastre. Habrían caído 25 kilómetros cúbicos de tierra al mar, donde debió de levantarse una ola de cincuenta metros de alto. Son diversos los indicios de que aquella ola pudo destruir la aldea. De los 63 esqueletos descubiertos en las ruinas, da la impresión de que muchos murieron de repente. Pescado preparado para su conservación o consumo quedó allí abandonado. El pozo del pueblo —el más antiguo que se conoce en el mundo— contiene huesos revueltos de seres humanos y de animales, como si se hubiese llenado de pronto. Todo lleva a pensar en una aniquilación por sorpresa. Según las simulaciones por ordenador, la ola habría tenido la energía necesaria para provocar tamaña devastación. Maria Teresa Pareschi, que encabeza el grupo de geólogos, aconseja que se vigilen las laderas del Etna. Un tsunami como aquel del neolítico arrasaría las costas de Israel, Líbano y Siria.

—Jacopo Pasotti



PARECE QUE EL HUNDIMIENTO de una ladera del Etna levantó hace 8000 años una ola gigante. Debió de arrasar las costas de Siria, Líbano e Israel.

PALEONTOLOGIA

¿A qué se debe que hayamos perdido el pelaje?

Tres han sido las principales explicaciones científicas propuestas para la carencia de pelaje en los humanos. Las tres rondan la idea de que en la evolución de nuestro linaje pudo resultar ventajoso ir siendo cada vez menos peludos, en un proceso de seis millones de años durante los cuales fuimos separándonos del último antepasado común que tuvimos con los chimpancés, hoy nuestros parientes más cercanos.

La hipótesis del "simio acuático" propone que hace entre seis y ocho millones de años los antepasados simiescos de los humanos modernos llevaban una vida semiacuática y buscaban comida en aguas someras. El pelaje no es un aislante térmico eficaz dentro del agua y, por ello, afirma la teoría, hubimos de evolucionar para reemplazarlo, como hicieron otros mamíferos acuáticos, con un revestimiento relativamente grueso de grasa corporal. Aunque esta teoría sea imaginativa —y nos justifique la barriga—, ha resultado imposible hallar pruebas paleontológicas de una fase acuática en la existencia humana.

Una segunda teoría es que perdimos nuestro pelaje para controlar la temperatura corporal al adaptarnos al calor de la sabana. Nuestros antepasados simios pasaban la mayor parte del tiempo en bosques frescos, pero un homínido erecto y revestido de espeso pelaje que caminase al sol se recalentaría. La idea parece razonable, pero aunque la falta de pelo ayudase a permanecer fresco durante el día, nuestros antepasados habrían perdido, en cambio, calor por las noches, cuando necesitaban conservarlo.

Recientemente, Walter Bodmer, de la Universidad de Oxford, y quien escribe hemos sugerido que los ancestros de los humanos modernos fueron perdiendo el pelaje para reducir la prevalencia de parásitos externos. Un abrigo piloso constituye un grato refugio para ectoparásitos como las garrapatas, los piojos o las pulgas. Estas criaturas no sólo provocan irritaciones y molestias, sino que son también portadoras de toda una panoplia de enfermedades, algunas de ellas letales. Los humanos, capaces de encender hogueras, de construir abrigos y de hacerse ropas, hubieran podido perder su pelo y, con él, la mayoría de sus parásitos, sin sufrir a causa del frío.

—Mark Pagel, director del grupo de biología evolutiva en la Universidad de Reading de Inglaterra

JACQUES DESCLOITRES, MODIS *Rapid Response Team*, NASA/GSFC (*arriba*); JAMES BALOG *Aurora* (*abajo*)

ACUSTICA

¿Por qué oímos a la soprano pese a la potencia de la orquesta?

Las cantantes de ópera maximizan su emisión sonora en frecuencias en las que la orquesta es menos poderosa y en las que nuestro oído posee mayor sensibilidad. Lo mismo en el habla que en el canto, producimos sonidos sostenidos mediante vibraciones de las cuerdas vocales, repliegues de membrana mucosa situados en la nuez que interrumpen de forma periódica el flujo de aire que exhalan los pulmones. Estos pliegues vibran a una frecuencia fundamental, que determina su altura tonal: normalmente, entre 100 y 220 hertz (Hz), o vibraciones por segundo, para el habla normal y de 50 a 1500 Hz para el canto. Tanto el habla como el canto contienen series de armónicos, en esencia múltiplos de las frecuencias fundamentales. Los cantantes, y especialmente las sopranos, aprenden a sintonizar las resonancias de su tracto vocal para que concuerden con la frecuencia fundamental, lo que les proporciona un impresionante aumento de potencia acústica. Las orquestas alcanzan normalmente su máximo volumen sonoro a frecuencias que rondan los 500 Hz, y decae rápidamente a frecuencias superiores; el oído humano, en cambio, posee máxima sensibilidad en la banda de los 3000 a 4000 Hz. Muchos cantantes de ópera aprenden a aumentar la potencia en los armónicos de frecuencias superiores a los 2000 Hz, lo que contribuye a que sus voces resalten. Por último, los cantantes de ópera se valen mucho más del vibrato —una variación lenta y cíclica de la altura tonal— que los músicos de la orquesta. Este efecto contribuye al procesamiento de la señal en nuestro sistema auditivo y permite apreciar que la voz es diferente del acompañamiento de la orquesta.

—John Smith,
Universidad de Nueva Gales del Sur en Sidney, Australia



FISICA

Navegar sin remos

Para los nadadores microscópicos resulta muy duro impulsarse; en distancias tan pequeñas el agua parece melaza. Para superar semejante viscosidad, un grupo de la Universidad de Sheffield ha creado nadadores de plástico que carecen de piezas móviles. Recubrieron un lado de unas bolas de 1,5 micras de diámetro con una fina capa de platino y las soltaron en una disolución de peróxido de hidrógeno y agua. El metal cataliza la ruptura del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua, con lo que las bolas se propulsan a velocidades de hasta cinco micras por segundo, la mitad que la velocidad a que se mueven las bacterias de tamaño similar. A los pocos segundos, las bolas comienzan a chocar con las moléculas y átomos circundantes y a serpentear, pero los diseñadores piensan que sería posible guiarlas mediante campos magnéticos. También cabría adaptarlas a otros fluidos, como la sangre, donde valdrían para administrar medicamentos dentro del cuerpo.

—Charles Q. Choi
Physical Review Letters, 27 de julio

ARQUEOLOGIA

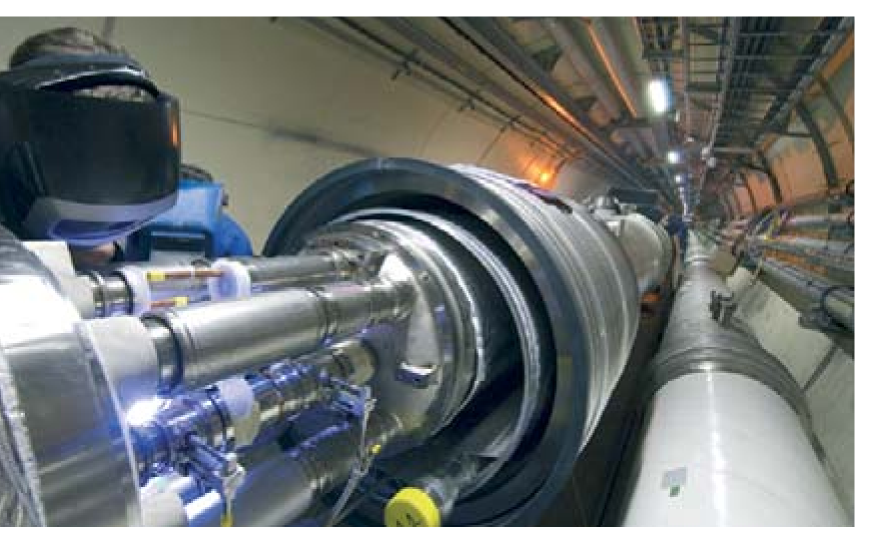
Fíbulas romanas para los celtas

Gracias a un detector de metales, se descubrió en 2000 un tesoro celta en un campo cerca de Winchester, en el Hampshire inglés. Destacaban dos pares de fíbulas. La pureza del oro y la perfección de la factura, sobre todo de las cadenas que unían cada par de piezas, daban a entender un origen romano. En 2005, un equipo de la Universidad de Lyon descubrió otro par de fíbulas de oro en el *opiddum* (núcleo urbano principal) arverno de Corent, cerca de Clermont-Ferrand. Del nombre del pueblo galo de los arvernos viene el de la actual región francesa de Auvernia. Unía el par de fíbulas una cadena de "cola de zorro" (formada por arandelas imbricadas). Se trata de objetos muy raros: aparte de los citados, se han encontrado otros por el estilo en el sur de Inglaterra y en el *opiddum* celta de Hradischt, en Chequia. De plata, con cadeneta de cola de zorro, se han hallado unas veinte en tierras celtas. Debían de proceder de Italia, donde se han desenterrado fíbulas parecidas en numerosos lugares. En cuanto a las de Winchester y Corent, no sólo su calidad remite a Roma. Los únicos que tenían derecho a llevar broches de esa naturaleza eran los oficiales romanos de alto rango. Roma confería esta dignidad a los reyes bárbaros que les prestaban sus ejércitos como fuerzas auxiliares; las fíbulas estaban entre las diversas insignias que se les concedía. En Corent se han encontrado edificios de estilo romano, importaciones de Italia y restos de armas legionarias. Parece, pues, que el lugar estuvo ocupado por fuerzas del partido arverno prorromano. Al final de la guerra de las Galias, la casa de las fíbulas y el *opiddum* entero fueron quemados y abandonados. Quizás un jefe arverno prorromano enterró las piezas, viendo venir el desastre, y luego no las recuperó nadie. Puede también que un rey britón aliado de Roma ocultase el tesoro celta de Winchester, del que se ha supuesto que tenía carácter ritual. No lejos, se halló el asa de una jarra romana, con forma de cabeza de ave; parece que individuos pertrechados al modo romano acamparon allí.

—François Savatier

PAR DE FIBULAS unidas por una cadena descubiertas en el *opiddum* de Corent, en Auvernia.

C SQUARED STUDIOS GETTY IMAGES (*arriba*); M. POUX (*abajo*)



FISICA

Paradojas

Para algunos físicos, la producción de determinados tipos de partículas a energías altísimas haría, retroactivamente, menos probable que tales partículas se creasen. Hablamos, por supuesto, de una teoría que viola el principio básico de la causalidad; en ella, el futuro influye en el pasado. Lo ejemplifican en la partícula de Higgs, pieza clave por descubrir del modelo estándar de partículas elementales. El Gran Acelerador de Hadrones, de próxima inauguración, quizá podría producirlas en grandes cantidades. Como seguramente habría hecho el supercolisionador superconductor, si las obras no se hubiesen interrumpido hace quince años.

GEOLOGIA

Manto húmedo

El agua que hay bajo la corteza de la Tierra participa en el volcanismo y, al lubricar la roca, quizá desencadene grandes terremotos. Sin embargo, no está claro cómo ha llegado esa agua allí. Se ha observado con una batería de sismógrafos la fosa del Japón. El agua se encuentra en la corteza oceánica en minerales hidratados. Se cree que estos materiales expulsan su agua a las presiones y temperaturas que se dan a profundidades de entre 50 y 150 kilómetros. Esa agua liberada no flotaría. Se infiltraría en las rocas del manto, donde formaría serpentinita verdosa; la subducción la conduciría debajo de la corteza. Se ha encontrado un posible canal de ese tipo de roca hidratada, que se internaría en las profundidades del manto a lomos de una placa descendente. El manto se hidrataría de esa manera.

—Charles Q. Choi
Science, 8 de marzo

ETOLOGIA

Las ardillas están que arden

Hay ardillas que calientan sus peludas colas para ahuyentar a las serpientes sensibles a los rayos infrarrojos que intenten devorar sus crías. Grabaciones con vídeo de infrarrojos muestran que las colas de ardillas de California adultas, dispuestas a defenderse con fiereza y resistentes al veneno de serpiente, se calentaban varios grados al ser amenazadas por serpientes de cascabel. Esos ofidios perciben la luz infrarroja con unos órganos sensoriales detectores de infrarrojos situados en sus fosas nasales. Sin embargo, cuando los roedores se enfrentaban a serpientes toro, que carecen de sensores de calor, no se producía ningún calentamiento. Una ardilla disecada suscitaba también reacciones defensivas de las serpientes de cascabel cuando su cola se calentaba y agitaba artificialmente. Se trata de la primera comunicación animal por medio de infrarrojos que se conoce. Aun así, la defensa no es totalmente eficaz: estudios anteriores han encontrado que la dieta de una serpiente de cascabel está compuesta en un 70 por ciento por crías de ardilla.



—J. R. Minkel
Proceedings of the National Academy of Sciences USA 104 (36), 14372

INGENIERIA

¿Aviones superconductores?

La superconductividad podría ser la clave para los motores de reacción eléctricos, que reducirían las emisiones de gases de invernadero de los aviones. No aportan una fracción pequeña; en el año 2003, sumaron un 9 por ciento del total de tales emisiones en EE.UU. En un estudio conjunto de las universidades A&M y estatal de Florida se concluye que, para aviones pequeños, las turbinas superconductoras serían lo bastante ligeras y potentes como para funcionar con la electricidad generada por pilas de hidrógeno, de combustión limpia. El hidrógeno líquido podría servir también para enfriar los superconductores. Pero tales ahorros se obtendrían a costa de un sobreprecio muy considerable.

—J. R. Minkel

CMS/CERN (*arriba*); GEORGE McCARTHY *Nature Picture Library* (*ardilla*); CHIP FORELLI GETTY IMAGES (*reactor*)

Ríos y presas: una relación compleja

Los cerca de 190 embalses que operan en la cuenca del Ebro limitan el transporte de sedimentos

Los ríos han sido el principal recurso hídrico de la humanidad a lo largo de la historia. El desarrollo socioeconómico y demográfico que experimentaron numerosos países a consecuencia de la revolución industrial se produjo ligado a un aumento notable del consumo de agua y de energía.

De esa forma, fue necesaria la regulación de cursos fluviales mediante la construcción de presas, desde finales del siglo XIX, y sobre todo en Europa. La regulación no aminoró su paso a lo largo del siglo XX, asegurando el suministro de agua a una parte considerable de la población mundial.

Las presas modifican el régimen fluvial y condicionan la magnitud y la frecuencia de las crecidas. En la actualidad existen más de 45.000 grandes presas en el mundo. Un tres por ciento de las mismas se ubican en España; se destinan a usos agrícolas, industriales, consumo humano y producción hidroeléctrica.

La alteración de la dinámica hidrológica de un río, aguas abajo de una presa, repercute sobre su funcionamiento geomorfológico y biológico. Recordemos que los ríos corresponden a sistemas complejos que, amén de transferir agua desde las cabeceras hasta las partes bajas de las cuencas y su desembocadura, transportan sedimentos, primero hasta las llanuras aluviales y más tarde hasta los océanos. Constituyen, pues, un elemento esencial en el ciclo de denudación continental.

La aportación media de sedimentos de los ríos a los océanos de todo el planeta se estima en 20.000×10^6 toneladas al año, de las cuales alrededor de 500×10^6 corresponden a cuencas europeas. La dinámica conjunta de agua y sedimentos en los lechos fluviales es la responsable del equilibrio entre los elementos abióticos (morfología del cauce) y bióticos (hábitat ictícola). Los sedimentos acumulados en el embalse provocan la disminución progresiva de la capacidad de almacenaje de agua, un déficit sedimentario aguas abajo y desequilibrios en la dinámica costera.

El caso del Ebro

El grupo de Geomorfología fluvial de la Universidad de Lérida y el Centro Tecnológico Forestal de Cataluña han analizado la interacción entre las presas y el transporte de sedimentos y los procesos fluviales asociados en el tramo bajo del río Ebro. La investigación se propone ahondar en la comprensión del comportamiento geomorfológico del río y con ello apoyar las actividades de restauración.

En la cuenca del Ebro operan alrededor de 190 presas. Construidas en el transcurso del siglo XX, regulan alrededor del 60 por ciento de la escorrentía media anual de la cuenca. Las presas de Mequinenza, Ribarroja y Flix, situadas 115 kilómetros aguas arriba del delta del Ebro, forman el mayor complejo de embalses de la cuenca, con una capacidad de almacenaje de 1,75 km^3.

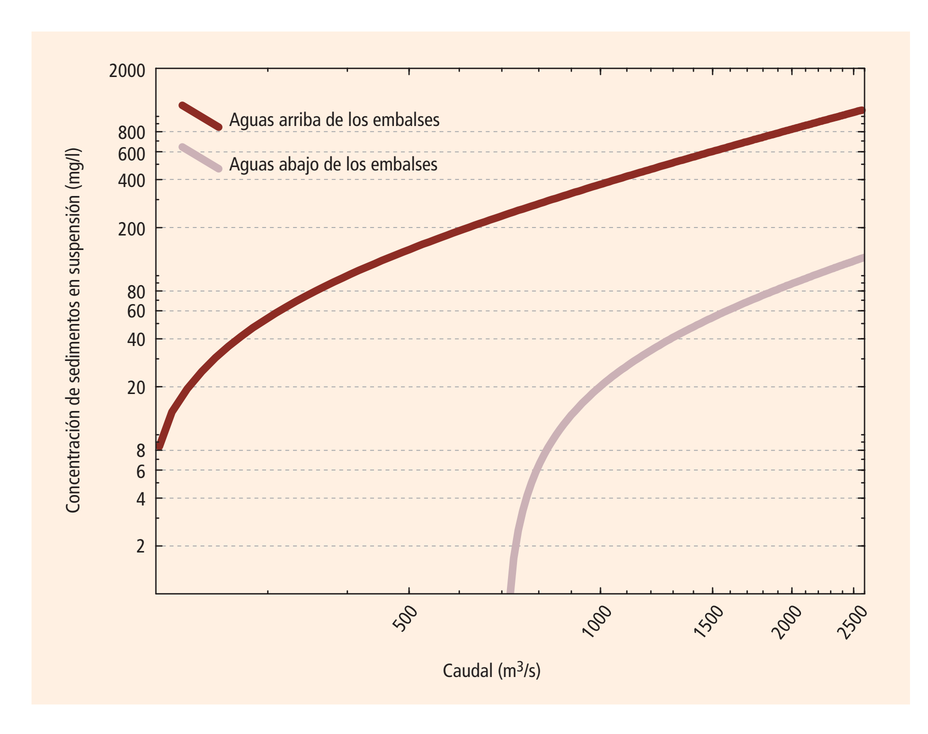
La investigación se ha basado en análisis de series de caudales y mediciones directas de transporte de sedimentos durante crecidas entre los años 2002 y 2004. Asimismo, se han llevado a cabo campañas de campo para obtener información de la distribución y evolución espacial y temporal de la estructura y el tamaño de los sedimentos que forman el cauce del río.

Déficit sedimentario

A tenor de los resultados, el río Ebro transporta hasta el mar menos del 2 por ciento de la carga sedimentaria que estudios previos han estimado que transportaba a principios del siglo XX, en un período en que las condiciones para la erosión de los suelos de la cuenca eran más favorables a las actuales. Los embalses del tramo bajo retienen hasta el 90 por cierto de la carga de limos y arcillas



1. El río Ebro a su paso por (*a*) Sástago (aguas arriba del embalse de Mequinenza) y (*b*) Mora de Ebro (aguas abajo de la presa de Flix), durante episodios de crecida. La diferencia de color del agua muestra la reducción del transporte de sedimentos.



2. Relación entre el caudal y la concentración de sedimentos en suspensión aguas arriba y abajo de los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Flix para el período 2002-2004.

($1{,}4 \times 10^6$ toneladas anuales), lo que provoca que la concentración de sedimentos en suspensión en el caudal curso abajo de las presas disminuya hasta un orden de magnitud. Además de sedimentos finos, quedan retenidas las fracciones gruesas que circulan por el cauce: grava y arena que forman la estructura del lecho del río y que sustentan el hábitat fluvial.

Durante las crecidas, el caudal de agua erosiona el lecho del río. En ríos no regulados, el material erosionado es reemplazado por el que llega desde aguas arriba; se establece un equilibrio dinámico. En ríos regulados, se rompe ese equilibrio debido a la nula aportación de arena y grava desde el curso superior, con la consiguiente incisión del cauce (erosión por agua limpia), que se prolonga hasta que el río alcanza un nuevo equilibrio.

La erosión por agua limpia en el río Ebro produce una exportación neta de $0{,}18 \times 10^6$ toneladas de sedimentos gruesos del lecho cada año. Ese déficit sedimentario se traduce en una incisión media de 30 milímetros. El nuevo equilibrio hidráulico se produce cuando el lecho del río se acoraza, la incisión se detiene, la pendiente se estabiliza y el flujo deja de erosionar el cauce. Decimos que el lecho se acoraza cuando las partículas superficiales son bastante más gruesas que las subsuperficiales y se mueven sólo durante grandes crecidas.

El acorazamiento suele conllevar una disminución de la calidad del hábitat. El río Ebro presenta áreas acorazadas, sobre todo aguas abajo de la presa de Flix. Aun así, en general, el sedimento del lecho se muestra todavía activo, según queda corroborado con las altas tasas de carga de fondo medidas durante crecidas; ello facilita los esfuerzos de restauración que se están llevando a cabo. La colonización espontánea por vegetación arbustiva y arbórea de numerosas zonas del cauce, hasta hace poco activas, sugiere una aceleración del proceso de incisión y posterior acorazamiento.

Con todo, el cauce dista de haber llegado a una situación de reequilibrio hidro-sedimentario, 40 años después del cierre de las últimas presas. En ello se basan quienes sostienen que la escala de ajuste de ríos como el Ebro a la construcción de presas es del orden de 100 años.

La relación entre los ríos y sus presas es compleja y evoluciona a largo plazo. Seguimos sin conocer los efectos últimos de la regulación. De hecho, la regulación y la desregulación fluvial plantean retos científicos y de gestión ineludibles durante el siglo XXI. En ese contexto, cabe citar que son aún escasos los estudios sobre el transporte de sedimentos en grandes ríos regulados. Sin embargo, los ríos regulados requieren a menudo programas de restauración fluvial que minimizan los efectos de los embalses sobre el ecosistema aguas abajo. En el Ebro se trabaja en ese sentido desde 2002 mediante el diseño y la ejecución regular de crecidas de mantenimiento que mejoran la capacidad autodepurativa del río y contribuyen a la progresiva recuperación del régimen de caudales.

Damià Vericat
Centro de Investigación de Cuencas y Costas, Instituto de Geografía y Ciencias de la Tierra, Universidad de Gales, Aberystwyth, Reino Unido

Ramon J. Batalla
Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Universidad de Lérida, y Area de Hidrología, Centro Tecnológico Forestal de Cataluña

El fraude de las proteínas

No resulta difícil falsear el test estándar de nivel de proteínas; sin embargo, el sector duda antes de aplicar las alternativas

Cuando cientos de perros y gatos enfermaron la pasada primavera, funcionarios del gobierno de Estados Unidos descubrieron el origen del problema en la melamina, un compuesto rico en nitrógeno que se encuentra en plásticos y fertilizantes y cristaliza en los riñones de los animales que lo ingieren, causándoles insuficiencia renal. La Administración de Alimentos y Fármacos norteamericana anunció que los productores podrían haber añadido deliberadamente el compuesto a los concentrados proteínicos de gluten de trigo y de arroz para inflar las medidas de su cantidad

de proteínas. Cuanto más elevado es el nivel de proteínas de los concentrados, más alto es el precio que alcanzan en el mercado. Independientemente de que se haya añadido deliberada o accidentalmente, la melamina logró pasar el análisis de nivel de proteínas habituales en la industria, lo que sugiere que estos métodos de análisis, de un siglo de antigüedad, deberían ser reevaluados. Hay varias alternativas, pero el sector de la alimentación no se decide todavía a llevar a cabo el cambio.

Tradicionalmente, las proteínas de los alimentos se miden con un método desarrollado por el cervecero danés Johann Kjeldahl a finales del siglo XIX. En esta técnica analítica, un ácido fuerte ataca una muestra, descompone la materia orgánica y libera nitrógeno, que se convierte en amoniaco. La cantidad de amoniaco indica cuánto nitrógeno había en la muestra original y, por tanto, la cantidad de proteínas. Este "método ha demostrado ser robusto y preciso", según Julian McClements, especialista en alimentos de la Universidad de Massachusetts en Amherst. Tiene la ventaja de que con él se pueden analizar diversos productos y tipos de proteínas. Otra técnica similar, basada también en el nitrógeno, el test de Dumas, también es muy utilizada en el sector de la alimentación. Se basa en la combustión de la muestra para liberar nitrógeno. La Asociación Internacional de Comunidades Analíticas, entidad científica que establece las normas de los métodos analíticos, considera que las técnicas de Kjeldahl y Dumas son los métodos estándar para medir el nivel de proteínas en los alimentos.

Los métodos basados en el nitrógeno estarán contrastados, pero no son completamente fiables. Suponen que la fuente de todo el nitrógeno de los alimentos son proteínas constituidas por aminoácidos que contienen nitrógeno. Esta suposición es razonable si la comida que se analiza no está adulterada, puesto que los demás componentes principales de los alimentos —carbohidratos y grasas— no contienen nitrógeno. Pero como los tests detectan la cantidad total de nitrógeno, tanto el que proviene de las proteínas como el que no, en realidad no miden el nivel de proteínas.

Por tanto, cualquier componente químico rico en nitrógeno puede en principio falsear los tests de Kjeldahl o de Dumas. En el escándalo de la comida de animales domésticos, el nitrógeno de la melamina era indistinguible del nitrógeno de los aminoácidos y se sumó a la medida de la cantidad de proteínas de la muestra.



No apto para perros: la melamina añadida a la comida de animales domésticos falsificó la medida del contenido de proteínas. Engañó a los métodos más comunes de medición, que buscan nitrógeno como indicador de la presencia de proteínas.

Hay varias pruebas que miden el nivel de proteínas sin tener que basarse en el nitrógeno, como la cromatografía y la espectrofotometría ultravioleta, pero son caros, lentos y para realizarlos es necesario extraer las proteínas del alimento, proceso que depende del tipo de comida. Para analizar rápidamente las proteínas de un alimento, "probablemente la mejor técnica", dice McClements, es la espectroscopia infrarroja. Se fundamenta en que los enlaces péptidos de las proteínas absorben la luz infrarroja de formas características. El método requiere una calibración previa del dispositivo de medida para cada producto químico que se quiera detectar; si no se está buscando un producto químico en particular, no lo encontrarán utilizando la espectroscopía infrarroja. La aparición de picos en el espectro que no correspondieran a proteínas indicaría un posible contaminante en la muestra, que después se podría identificar por medio de otros tests.

Hace alrededor de 30 años, la Comisión Canadiense de Cereales adoptó la reflectancia del infrarrojo cercano (RIC), un tipo de espectroscopía infrarroja, para analizar los cereales. Desde entonces, Gran Bretaña, Australia, Rusia y Argentina, entre otros países, también han pasado a utilizar RIC. Más del 90 por ciento del trigo del mundo se examina con RIC, según Phil Williams, asesor de PDK Grain en Columbia Británica, y uno de los primeros en aplicar esta técnica a la inspección de cereales. En principio, RIC podría medir la cantidad de proteínas en diferentes tipos de alimentos, entre ellos el concentrado proteínico de gluten de trigo y arroz.

Aun así, debido a su coste económico, algunos dudan de que RIC pueda reemplazar a las pruebas basadas en nitrógeno. Carl Schulze, presidente de New Jersey Free Lab, empresa que analiza alimentos para la industria alimentaria, afirma que RIC funciona mejor cuando se examina repetidamente el mismo tipo de alimento. Pero el alto coste inicial de montar la máquina y probar en ella muestras similares a los productos que deben analizarse significa que esa técnica seguramente no será viable para los laboratorios independientes que analizan productos alimentarios.

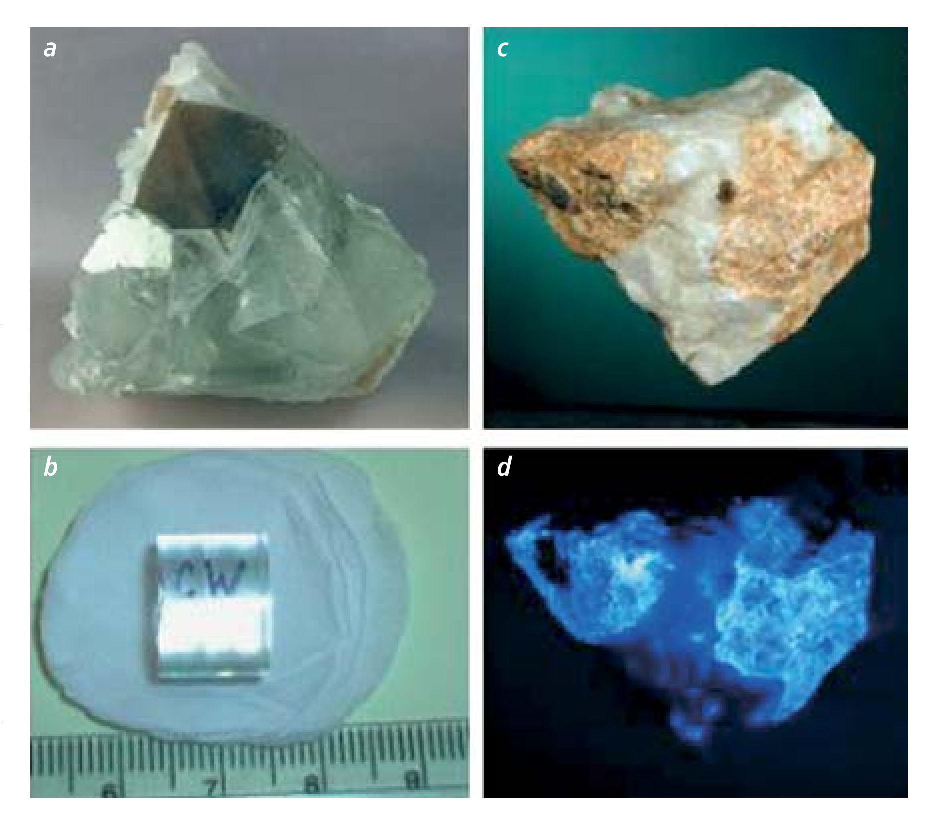
Alison Snyder
Nueva York

Scheelitas a altas presiones

Entre las puntas de dos diamantes, estos minerales de tungsteno cambian de estructura cristalina

Scheelita es el nombre mineralógico del wolframato de calcio ($CaWO_4$), una de las fuentes de la industria minera para la extracción del tungsteno. Sus cristales presentan estructura tetragonal, común en muchos óxidos del tipo ABO_4 (un elemento A con valencia +1, +2, +3 o +4 y un elemento B con valencia +7, +6, +5 o +4).

Las "scheelitas" conforman la familia de compuestos isoestructurales al $CaWO_4$. Toman en la naturaleza distintas tonalidades, en razón de sus impurezas (*véase la figura 1*). Sus cristales son apreciados por los coleccionistas de piedras preciosas. Una de las propiedades interesantes de las scheelitas estriba en la intensa fluorescencia de color azul que emiten al iluminarlas con luz ultravioleta. Debido a esta propiedad, las scheelitas se utilizan como materiales centelladores para detectores de rayos X y γ en aplicaciones médicas. Para cumplir esa función, se las hace crecer artificialmente por el método de Czochralski (en el que se introduce un cristal semilla en un crisol con material fundido).



1. Mineral scheelita de alta pureza y libre de defectos (*a*); cristal artificial de $CaWO_4$ (*b*); scheelita con impurezas (*c*); (*d*) el mismo mineral iluminado con luz ultravioleta en la oscuridad.

En la actualidad, las scheelitas se emplean también como cristales de láseres, detectores en los aceleradores de partículas, óxidos conductores de iones y endurecedores de cerámicas. Para estas aplicaciones es importante conocer su estructura cristalina y electrónica. Conocimiento que se ha incrementado merced a su investigación reciente a altas presiones.

La presión es la magnitud termodinámica que más varía en la naturaleza. Cubre un rango de sesenta y cuatro ordenes de magnitud (*véase la figura 2*). El estudio de los efectos de la presión sobre los materiales constituye la herramienta más efectiva para poner a prueba lo que sabemos de ellos. En los laboratorios especializados pueden alcanzarse presiones superiores a los 360 gigapascal (GPa), 3.600.000 atmósferas, del centro de la tierra. Sometiendo los materiales a estas presiones se produce una reducción sustancial de su volumen y de sus distancias interatómicas.

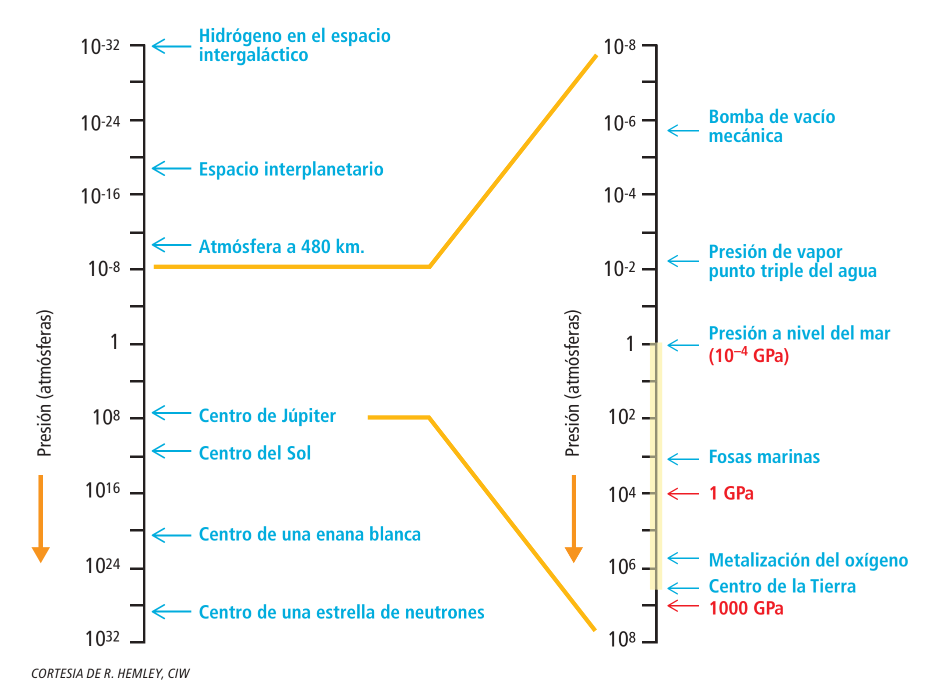
Tamaña compresión modifica las interacciones intermoleculares e intramoleculares y, por lo tanto, las propiedades de los materiales. Las altas presiones producen fenómenos físicos muy dispares y desconocidos a presión ambiente: metalización de semiconductores y gases, supresión de momentos magnéticos y coexistencia de superconductividad y magnetismo, entre otros. Ante esas posibilidades muchos laboratorios se hallan dedicados al estudio de las propiedades de los materiales a altas presiones.

En una celda de diamantes

Para conseguir presiones de hasta 500 GPa se utiliza una celda de diamantes (CDD). La idea básica de la CDD consiste en aplicar una fuerza sobre una superficie extensa y transferirla a otra pequeña. Los principales componentes de una CDD son dos diamantes de 1/3 de quilate con caras paralelas opuestas y una culata (la punta) de 0,1–0,5 mm de diámetro. Entre los diamantes se coloca una junta metálica que contiene la muestra a estudiar, el medio transmisor de presión y el calibrante con el que se mide la presión (por ejemplo un rubí cuyo espectro de fluorescencia esté calibrado en función de la presión). La transparencia de los diamantes a la luz y a los rayos X facilita la realización de experimentos a altas presiones.

Con una CDD se han sometido distintas scheelitas a altas presiones. En esas circunstancias se han determinado sus propiedades estructurales mediante difracción y absorción de rayos X y por espectroscopía Raman. La radiación aplicada en los experimentos de rayos X procede de radiación sincrotrón, la generada por las partículas dotadas de carga que se mueven cerca de la velocidad de la luz cuando se aceleran dentro de un campo magnético. En la espectroscopía Raman, las alteraciones de la frecuencia de un haz láser reflejado en el objeto analizado determinan las vibraciones de las moléculas que lo forman.

Se observó que el $CaWO_4$ y la mayoría de sus compuestos isoestructura-



2. Esquema representando las presiones observables en el universo (*izquierda*) y en nuestro planeta (*derecha*). En amarillo se indica el rango de presiones cubierto por una CDD.

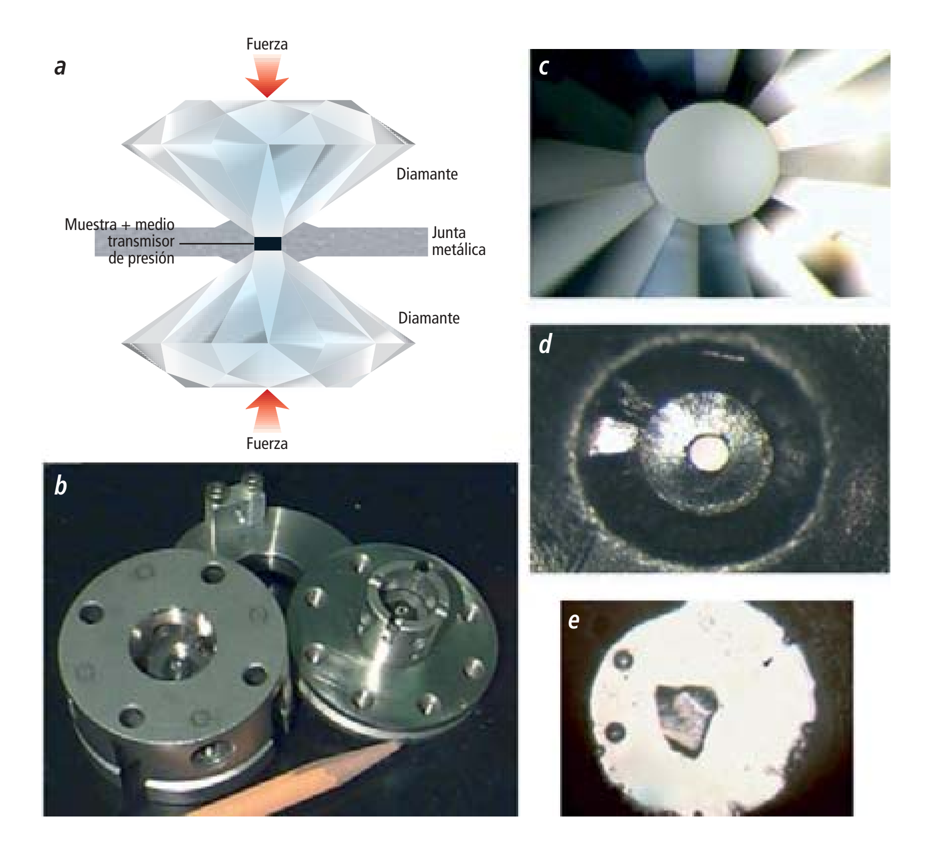
les transforman, a altas presiones, su estructura cristalina tetragonal en una estructura monoclínica, similar a la del mineral fergusonita ($YNbO_4$). En la estructura cristalina tetragonal de partida, la celda básica que se repite en el cristal tiene dos ejes de una misma longitud y un tercero de longitud diferente, los tres perpendiculares entre sí. En una estructura monoclínica, hay dos ejes perpendiculares y el tercero inclinado con respecto a uno de los otros. La presión de transición de una estructura a otra varía entre 6 y 11 GPa según el compuesto y depende del tamaño relativo del catión A respecto del catión B. Hay una relación lineal entre el cociente del radio de A y de B (r_A/r_B) y la presión de transición (ésta disminuye cuando r_A/r_B aumenta).

La transición scheelita-fergusonita es una transición ferroelástica de segundo orden. En cuanto ferroelástica, experimenta un cambio súbito de una orientación estable del cristal a otra igualmente estable ante la aplicación de una fuerza en una determinada dirección; de segundo orden, por cuanto no requiere absorber o emitir calor para producirse. En esa transición se asiste a un pequeño reordenamiento de los átomos: la fase fergusonita es una versión distorsionada y comprimida de la fase scheelita obtenida mediante una ligera distorsión de la matriz de cationes y un desplazamiento de los aniones. Las dos estructuras constan de tetraedros BO_4, interconectados por cationes del tipo A coordinados con ocho oxígenos. La figura 4 ilustra cuán sutil es el cambio de la estructura cristalina en la transición.

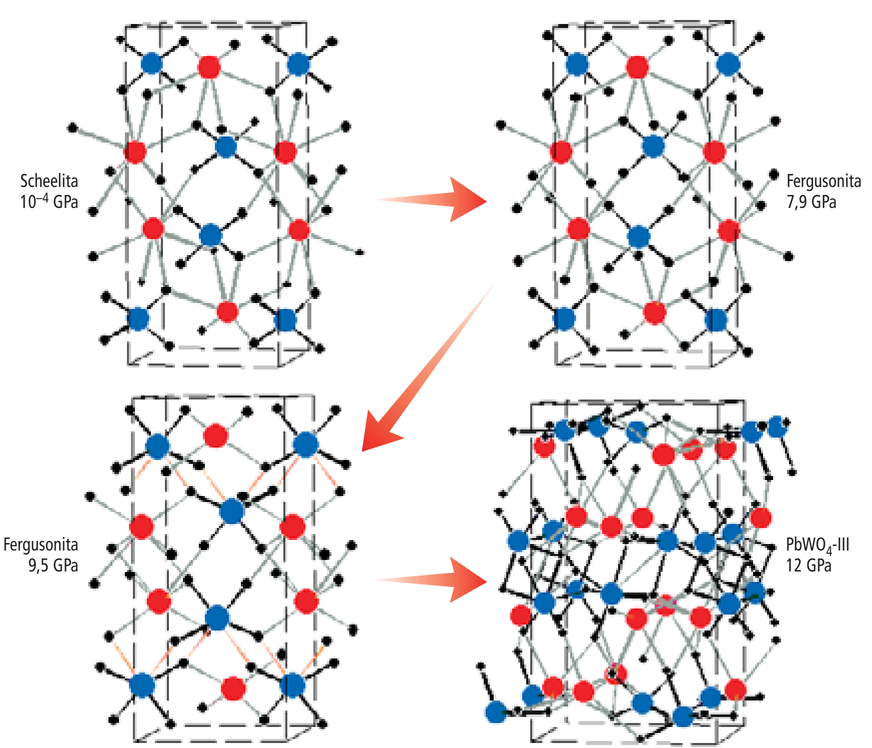
Tetraedros y poliedros

Otro resultado encontrado en los estudios realizados es que los tetraedros BO_4 se comportan como unidades rígidas que apenas se distorsionan cuando se comprime el material. En consecuencia, la compresibilidad de los compuestos ABO_4 está determinada por la compresión de los poliedros AO_8. En particular, se estableció que el módulo de compresibilidad de estos materiales era proporcional a la densidad de cargas dentro del poliedro AO_8.

Por otro lado, en la estructura fergusonita se observó que la distorsión monoclínica aumentaba gradualmente con la presión. En razón de ese fenómeno la coordinación W-O cambia de forma paulatina de cuatro a seis oxígenos (*véase la figura 4*). Luego, ante una mayor compresión, la estructura fergusonita se transforma en otra estructura monoclínica



3. Esquema de una CDD (*a*); celda de diamantes (*b*); culata de un diamante de la CDD (*c*); junta metálica con la cavidad de presión, 0,15 mm de diámetro (*d*); muestra preparada en una CDD vista a través de un diamante (*e*). Los círculos pequeños son los rubíes utilizados para medir la presión.



4. Cambios estructurales del $PbWO_4$ bajo presión; Pb (*punto rojo*), W (*punto azul*) y O (*punto negro*). Entre 7,9 y 9,5 GPa cambia la coordinación W-O; los nuevos enlaces se muestran en naranja. A 12 GPa la fase postfergusonita posee una estructura más densa.

(fase III del $PbWO_4$). La fase posfergusonita, más compacta, implica una reducción del volumen del 8 %. La segunda transición es de primer orden —requiere absorber o emitir energía— y supone un reordenamiento considerable de los átomos.

Las scheelitas se estudiaron también mediante cálculos computacionales basados en primeros principios. Los resultados deducidos concuerdan con las pruebas experimentales y predicen la existencia de estructuras con simetría ortorrómbica —tres ejes perpendiculares desiguales—, a presiones de más de 20 GPa. La combinación de experimentos y teoría permitió establecer una sistemática estructural para los compuestos ABO_4, en la que figuran otros compuestos, además de las scheelitas; por ejemplo, los zircones (los compuestos isoestructurales al $ZrSiO_4$). Siguen esta secuencia: simetría tetragonal (zircón → scheelita) → monoclínica (fergusonita → post-fergusonita) → ortorrómbica. Por último, a presiones de más de 40 GPa las scheelitas tienden a convertirse en amorfas, debido a la ruptura de las simetrías del cristal, o a descomponerse en óxidos binarios.

Los efectos de la presión en la estructura cristalina de las scheelitas modifican indirectamente sus propiedades ópticas y electrónicas. En ese ámbito, se estableció que, como consecuencia de la reducción de las distancias interatómicas, la banda prohibida ubicada entre las bandas de conducción y valencia se cierra con la presión.

Tales resultados permiten poner a prueba nuestro conocimiento de las scheelitas, mejorándolo y facilitando el perfeccionamiento de sus aplicaciones técnicas. Por otro lado, las conclusiones extraídas resultan de interés en geofísica y geoquímica. Las scheelitas y los zircones son minerales abundantes en las rocas de la parte superior de la corteza terrestre y en los restos de meteoritos que impactan sobre nuestro planeta. A una profundidad de 100 km bajo tierra se encuentran presiones cercanas a 10 GPa, que también pueden generarse cuando impacta un meteorito contra el suelo. Es muy probable que en esas situaciones los minerales sufran las transformaciones vistas en los laboratorios. En consecuencia, los estudios a altas presiones son de gran utilidad para interpretar las observaciones hechas en la naturaleza.

Daniel Errandonea
Dpto. Física Aplicada, ICMUV, Universidad de Valencia

EL SUSTENTO DEL MUNDO

La globalización ha instaurado un mundo donde más de mil millones de personas están sobrealimentadas. Pero son centenares de millones quienes sufren todavía el persistente azote del hambre

GARY STIX

CONCEPTOS BASICOS

- El mundo ha logrado evitar las profecías de inanición masiva pronosticadas a mediados del siglo pasado.
- Se ha producido una transición nutricional, que en los países en vías de desarrollo ha provocado la coexistencia simultánea de obesidad y hambre.
- A escala mundial, la obesidad constituye un problema de salud pública más grave que la hambruna. Apenas existen soluciones aceptables para esta creciente epidemia.
- Los agricultores producen alimentos suficientes para todos. La persistencia del hambre se debe a conflictos políticos, desastres naturales y la pobreza crónica del medio rural.
- Los agrónomos siguen investigando si los cultivos transgénicos pueden ayudar a alimentar al mundo, mientras que las naciones industrializadas se enfrentan al nutricionismo, que contempla los alimentos como si fueran medicinas.

En 1963, unas 200.000 personas se enfrentaban en los estados hindúes de Bengala Occidental y Assam a la muerte inminente por inanición. Pocos años después, la sequía provocó grave escasez de alimentos en el cercano estado de Bihar. En 1968, el biólogo Paul Ehrlich, con este tipo de noticias como telón de fondo, conjeturaba en su libro *The Population Bomb* ("La bomba de la población") que, en el plazo de unos cuantos años, morirían de hambre cientos de millones de personas, esquilmados los escasos recursos a causa del inexorable crecimiento de la población.

Esta profecía neomaltusiana no se hizo realidad. En el caso de India, la revolución verde agrícola logró impedir que "del barco a la boca" fuese la norma de la alimentación, una existencia en la que serían indefinidamente necesarias las donaciones internacionales de alimentos para mantener a raya los pesimistas pronósticos de Ehrlich. A lo largo de los 40 años transcurridos desde entonces, la India ha experimentado una remodelación radical y ahora aparece en la portada de las revistas como un gigante económico en alza. El mundo subdesarrollado de comienzos del siglo XXI tiene a menudo mayores problemas con la sobrealimentación que con la hambruna; transición nutricional se llama a este subproducto sociológico de la globalización. El cambio de milenio señaló la primera vez en que los individuos con sobrepeso igualaban en número a los subnutridos. Los sobrealimentados, 1300 millones, son en la actualidad varios cientos de millones más que los famélicos.

Tanto ricos como pobres comparten hoy muchas preocupaciones al sentarse a la mesa. La coca-colonización, término que encontramos incluso en artículos académicos, ha erigido a escala mundial una infraestructura para la *comida chatarra*, como dicen en México. Los distribuidores de Coca-Cola firman contratos en exclusiva con las tiendas de barrio y proporcionan a los tenderos refrigeradores y otros objetos para el punto de venta. En nuestros días se ingieren en México más calorías procedentes de bebidas azucaradas que en Estados Unidos.

La revolución verde ha impedido la mortandad masiva por inanición, pero no ha habido tanto acierto en poner coto a la expansión



KENN BROWN

mundial de los perímetros abdominales. El conocimiento cabal de la endocrinología, la neurología y la genética de la obesidad ha ido avanzando despacio. Se ha descubierto incluso un gen al que puede manipularse para acelerar el consumo calórico. Pero todavía no se ha dado con una píldora adelgazante eficaz. El combinado de fármacos para la reducción de peso Fen-Phen tuvo que ser retirado del mercado en 1997, pues según ciertos estudios inducía problemas cardíacos. Y en la actualidad, el orlistat se vende sin receta con el nombre de *alli*, a consecuencia, según los médicos, de su dudosa eficacia cuando se vendía con ella. Si verdaderamente fuese eficaz, las prescripciones de los médicos habrían reportado a GlaxoSmithKline miles de millones de dólares al año.

La industria farmacéutica todavía no se ha dado por vencida. Se investigan moléculas que bloquean en el cerebro y en los intestinos los mensajeros químicos que estimulan el apetito, amén de otras que aceleran el consumo energético. Pero ningún fármaco podrá ocuparse de las flaquezas psicológicas que amenazan con echar por tierra al mejor de los tratamientos. Investigaciones recientes sobre los aspectos conductuales de la dieta han hecho ver que la ingestión de píldoras de adelgazamiento anima a los consumidores a ceder a la tentación de zamparse hamburguesas dobles con queso y panceta, o a pasarse los fines de semana apoltronados viendo en la televisión reposiciones de series. Y los efectos secundarios suponen una preocupación constante cuando se remodelan vías bioquímicas tan primarias como las de la nutrición. En junio, Sanofi Aventis retiró la solicitud de licencia de un fármaco propuesto para la pérdida de peso, el rimonabant (Acomplia), ya que puede inducir pensamientos suicidas. Un panel asesor de la Administración Federal de Medicamentos de Estados Unidos había informado en contra de su aprobación.

La apuesta más simple parece ser la de comer menos y hacer más ejercicio. Pero incluso el más puritano estilo de vida suscita la controversia. Un estudio realizado en 2005 hizo ver que las personas con moderado sobrepeso tienen una mortalidad inferior a la de quienes marcan en la báscula de baño valores comprendidos en el intervalo salubre. Desde entonces, los científicos de la nutrición, imbuidos de la retórica de la obesidad como epidemia, vienen lanzando andanadas contra resultados tan blasfemos.

Si la mayor parte de las dietas resultan ineficaces a largo plazo —como muchas pruebas demuestran— ¿qué van a hacer los rollizos, faltos de píldoras y de planes de adelgazamiento? El movimiento “gordos, pero en forma” aboga por mantener la actividad física y no preocuparse tanto del índice de masa corporal. Unos pocos llevan más lejos este razonamiento, adeptos de normas culturales más que atentos a la epidemiología. En Níger, las mujeres de campo desprecian la delgadez, y algunos urbanitas, occidentales y varones, ensalzan el exceso de adiposidad.

La transición nutricional no es monolítica. Quien visitase un modesto hogar de Indonesia podría encontrarse con un niño corpulento apoltronado en el sofá de la sala de estar al lado de un hermano escuálido, testimonios vivientes de los efectos paradójicos de las dietas cargadas de azúcar y de grasas. El mundo produce alimentos suficientes para alimentar a toda su población, desde Palm Beach hasta Pyongyang. Pero, a menudo, llevar el arroz del arrozal al cuenco plantea difíciles problemas. Y aunque el número de famélicos del mundo haya disminuido, la infranutrición persiste:

1. EL SOBREPESO y sus complicaciones concomitantes afectan a adultos y a niños, tanto en países ricos como en países pobres. En cambio, 800 millones de personas siguen todavía sin poder comer lo suficiente.





CONSTANTINE MANOS *Magnum (arriba)*; SCHWARZBACH *Peter Arnold, Inc. (abajo)*

son centenares de millones quienes no logran ingerir suficientes calorías todos los días.

Entretanto, es posible que el desarrollo de la revolución verde se esté topando con sus propios límites, pues aunque la producción de cereales ha estado aumentando regularmente desde los años sesenta, cuando los agricultores del mundo subdesarrollado comenzaron por fin a utilizar semillas mejoradas, fertilizantes, plaguicidas y riego, la superficie de tierra cultivable sigue siendo la misma. La intensa aplicación de plaguicidas puede también limitar futuras ganancias, debido a la contaminación del agua potable.



Tras la revolución verde, ¿vendrá la genética?

En teoría, una "revolución genética" basada en los cultivos transgénicos podría salvar las deficiencias de la revolución verde. La adopción de nuevas prácticas en los años sesenta, alimentadas por los subsidios gubernamentales y por grupos transnacionales, tuvo lugar de la noche a la mañana y multiplicó las cosechas casi inmediatamente, pero los cultivos biotecnológicos aún tienen que demostrar su utilidad en los países en vías de desarrollo. El sector privado suministra organismos genéticamente modificados, pero a menudo exige precios que, para las explotaciones de tamaño pequeño o mediano del Tercer Mundo, resultan prohibitivos. Unos pocos países en desarrollo han ensayado con cierto éxito maíz y soja transgénicos. Sin embargo, la esperanza de que la técnica contribuya al desarrollo de una región concreta —con cultivos capaces de resistir la sequía o de crecer en suelos salinos— no se ha concretado aún a escala comercial.

La obesidad y el hambre coexisten en los países en vías de desarrollo, pero el mundo industrializado tiene que habérselas con su propia y peculiar confusión dietética. Planes dietéticos cuidadosamente elaborados prescriben un número exacto de dosis de carne, lácteos, frutas y hortalizas. A pesar de su revisión de hace pocos años, la pirámide alimentaria del Departamento de Agricultura estadounidense sigue mereciendo el desdén de muchos nutricionistas.

Los fundamentos científicos de una planificación minuciosa de lo que se come en una nación son verdaderamente escasos. Casi toda la investigación sobre alimentos se basa en seguir el rastro a un solo ingrediente y no alcanza a identificar otros factores, sean genéticos o conductuales, que pueden desembocar en enfermedades de mortalidad elevada, como la diabetes o la obstrucción de coronaria. La necesidad de simplificar con exceso explica la continua revocación de ideas muy aceptadas; así, hay estudios que proclaman que una alimentación más rica en fibra no evita el cáncer o que las dietas pobres en grasas carecen de eficacia preventiva para la enfermedad coronaria o el cáncer colorrectal. Marion Nestle, autora de un artículo de este número, "Dietética elemental", procura dejarle las cosas claras al desconcertado comprador de supermercado. Ha acuñado este lema: "Coma menos, muévase más, consuma muchas frutas, hortalizas y granos enteros, y prescinda de la comida basura".

Los requerimientos de no complicar las cosas se aproximan a la que se podría llamar "dieta Mark Twain". Twain sintetizó las complejidades del equilibrio energético de la alimentación en una sola declaración: "Parte del secreto del éxito en la vida consiste en comer lo que a uno le gusta, y dejar que los alimentos se arreglen entre ellos allá dentro". Otros neo-twanianos (entre ellos, Michael Pollan, autor de *The Omnivore Dilemma*) defienden los placeres de la comida y dejan de lado el nutricionismo, el tratar los nutrientes como medicinas, empresa que, paradójicamente, puede no resultar beneficiosa para la salud. Pollan insta al consumidor a "pagar más y comer menos" con la adquisición de alimentos de calidad que conserven su sabor, a la vez que cuentan con valor nutritivo. Si se atiende a su razonamiento, las artes culinarias y las ciencias de la nutrición no tienen por qué seguir encastilladas en posiciones enfrentadas. Unas y otras deberían rechazar la barrita dietética reforzada con vitaminas.



2. LA DIFUSION MUNDIAL de la epidemia de obesidad afecta a los países en desarrollo, en parte por la disponibilidad de comida basura.

THE ENG KOON *AP Photo (arriba)*; XIE HUANCHI *Xinhua/AP Photo (abajo)*

DIETETICA ELEMENTAL

Cómo orientarse entre una abundancia de recomendaciones contradictorias sobre lo que se debe comer

Marion Nestle



JAMES PORTO

CONCEPTOS BASICOS

- Las recomendaciones dietéticas son confusas. A los científicos les cuesta ofrecer consejos claros porque el estudio de los nutrientes por separado no permite saber qué ocurre cuando se mezclan en el cuerpo con otros nutrientes.
- El panorama se enturbia aún más porque los fabricantes de alimentos no dejan de insistir, ante los organismos públicos y los consumidores, en las virtudes de productos concretos.
- El mejor mensaje podría ser el más simple: no coma en exceso, haga más ejercicio, consuma sobre todo frutas, verduras y cereales integrales, y prescinda de la comida basura.

Al ser profesora de nutrición me preguntan constantemente por qué las recomendaciones dietéticas parecen cambiar tanto y los expertos discrepan tan a menudo. ¿De qué información, pregunta la gente, debemos fiarnos? Me tienta decir que de la mía, pero entiendo las dudas de los demás. Las recomendaciones sobre nutrición parecen siempre encallar entre polémicas científicas, intereses creados de la industria de la alimentación y compromisos de los responsables públicos. Sin embargo, los principios básicos no están en discusión: coma menos, muévase más, coma frutas, verduras y cereales integrales, y no se exceda con la comida basura.

"Coma menos" significa consumir menos calorías, lo que se traduce en raciones más pequeñas y no tomar tantos tentempiés entre comidas. "Muévase más" se refiere a la necesidad de equilibrar el consumo de calorías con la actividad física. Comer frutas, verduras y cereales integrales aporta los nutrientes de que carecen otros alimentos. Evitar la comida basura significa rechazar la "comida de mínimo valor nutritivo", los dulces muy procesados y los tentempiés cargados de sal, azúcares y aditivos artificiales. Los refrescos son el prototipo de comida basura; contienen edulcorantes, pero pocos nutrientes, si alguno.

Si sigue estos preceptos, otros aspectos de la dieta importan mucho menos. Lo curioso es que estos consejos no han cambiado desde hace años. Medio siglo atrás, Ancel Keys (famoso cardiólogo que murió en 2004 a la edad de 100 años) y su mujer, Margaret, sugirieron unos principios semejantes para prevenir las enfermedades cardiovasculares.

AL



1. COMPRADORES Y COMENSALES se enfrentan diariamente a una sobreabundancia de productos alimenticios.



2. SE HA DEMOSTRADO que quienes consumen productos procedentes de una agricultura "biológica" tienen menos restos de plaguicidas sintéticos en el cuerpo que quienes se alimentan de productos de un campo normal. Demostrar que los productos "ecológicos" contienen más vitaminas o antioxidantes es más difícil, pero los estudios preliminares apuntan claramente a que es así.

LOS ANTIGUOS PRECEPTOS SIGUEN VIGENTES

En 1959 Ancel y Margaret Keys ofrecieron los siguientes consejos —que no han perdido vigencia— sobre nutrición y ejercicio:

- No engorde; si está gordo, baje de peso.
- Limite las grasas saturadas: las grasas de la carne de vaca, cerdo y cordero, salchichas, margarina, mantecas y de productos lácteos.
- Anteponga los aceites vegetales a las grasas sólidas, sin dejar de mantener la cantidad total de grasas por debajo del 30 por ciento de las calorías de su alimentación.
- Prefiera fruta, verduras frescas y productos lácteos desnatados.
- Evite el uso excesivo de sal y azúcar refinado.
- Una buena alimentación no depende de medicamentos ni de preparaciones elaboradas.
- Haga abundante ejercicio y actividades al aire libre.

Pero entiendo que parezca que los consejos alimentarios van y vienen. La investigación nutricional es tan difícil de llevar a cabo, que raramente produce resultados inequívocos. La ambigüedad requiere interpretación. Y en la interpretación influye el punto de vista individual, que puede llegar a mezclarse con el científico.

Las dificultades de la ciencia de la nutrición

Esta incertidumbre científica no sorprende demasiado, ya que la alimentación humana es muy variada. Los efectos que produce el tipo de alimentación en la salud de cualquier persona están definidos por la genética, la educación, el nivel económico, la satisfacción en el trabajo, el estado físico y el consumo de tabaco o alcohol. Para simplificar esta situación, se suelen examinar los efectos de los componentes de la dieta por separado.

Los estudios que se concentran en un solo nutriente han servido para explicar los síntomas de las deficiencias en vitaminas o minerales. Pero este enfoque es menos útil para las afecciones crónicas, como las enfermedades cardiovasculares y la diabetes, causadas por una interacción entre factores dietéticos, genéticos, conductuales y sociales. Si la ciencia de la nutrición parece desconcertante es porque los investigadores acostumbran examinar nutrientes sueltos, separados de los alimentos, a éstos al margen de las dietas y a unos factores de riesgo aislados de otros. Este tipo de investigación "reduccionista" atribuye las consecuencias en la salud al consumo de un nutriente o alimento, cuando lo que más cuenta son las pautas dietéticas en conjunto.

En las enfermedades crónicas, la alteración que produce cada nutriente por sí solo es tan pequeña, que no se puede medir excepto con estudios de población amplios y costosos. Como se ha visto hace poco en un ensayo clínico, la Iniciativa para la Salud de las Mujeres, que estudió los efectos de las dietas de bajo contenido graso en enfermedades cardiacas y en el cáncer, las participantes fueron incapaces de mantener los restrictivos protocolos que exigía la dieta. Como a los seres humanos no se les puede encerrar para alimentarlos con raciones medidas, las dietas de los grupos de estudio experimentales y de control tienden a converger y, a la larga, no se distinguen las diferencias, ni siquiera con estadísticas alambicadas.

Son las calorías

Las industrias de la alimentación prefieren analizar los nutrientes por separado porque pueden utilizar los resultados que así se obtengan para vender productos. Si añaden vitaminas a las golosinas, las venderán como comida sana. Las garantías de salubridad de las etiquetas de comida basura distraen al consumidor de las calorías que contiene. Es una distracción importante: en lo que se refiere a la obesidad —que supone el mayor problema de nutrición incluso en algunos de los países más pobres del mundo—, lo que cuenta son las calorías. La obesidad aparece cuando se consumen bastante más calorías de las que se gastan con el ejercicio físico.

La proporción de obesos empezó a aumentar en EE.UU. a principios del decenio de los ochenta. Los sociólogos atribuyen el incremento de calorías que condujo a ese aumento a que la población, demasiado atareada, pasara a optar por comidas de elaboración rápida, productos preparados y empaquetados y menús de restaurantes, que suelen contener más calorías que las comidas caseras.

Pero otras fuerzas sociales fomentan también el desequilibrio calórico. Con la llegada de la administración Reagan en 1980, se fueron anulando más regulaciones industriales, se eliminaron controles de la producción agraria y se fomentó el rendimiento de campesinos y ganaderos. Las calorías disponibles per cápita en el suministro nacional de comida (las producidas en EE.UU., más las importadas, menos las exportadas) subieron de 3200 al día en 1980 a 3900 al día dos decenios más tarde.

Los principios de los años ochenta marcaron el advenimiento del "movimiento por la valorización a favor de los accionistas" en Wall Street. Los accionistas exigieron rendi-



mientos más altos y a corto plazo de sus inversiones. El sector alimentario hubo de ampliar las ventas en un mercado que ya contenía excesivas calorías y buscar nuevas oportunidades comerciales. Se fomentaron prácticas antes rechazadas, como comer frecuentemente entre horas y en lugares insólitos (librerías o en tiendas de ropa), así como servir raciones más grandes.

La industria patrocinó organizaciones y publicaciones relacionadas con la nutrición e intensificó sus esfuerzos para que el gobierno no les perjudicase con sus recomendaciones dietéticas. Entonces y ahora, los grupos de presión han laborado para que se interpretasen a su favor los estudios científicos, han patrocinado investigaciones que les permitan reafirmar la salubridad de sus productos, y han recriminado a los críticos, a mí misma entre ellos, que defienden una “ciencia basura”. Estas actitudes sólo sirven para confundir más al público.

NOCIONES SOBRE LA COMIDA

Para perder alrededor de medio kilo de grasa a la semana, ingiera 500 calorías menos al día.

Los hidratos de carbono y las proteínas contienen alrededor de 4 calorías por gramo. Las grasas de la comida contienen más del doble: 9 calorías por gramo. En una cucharita de café caben unos 5 gramos.

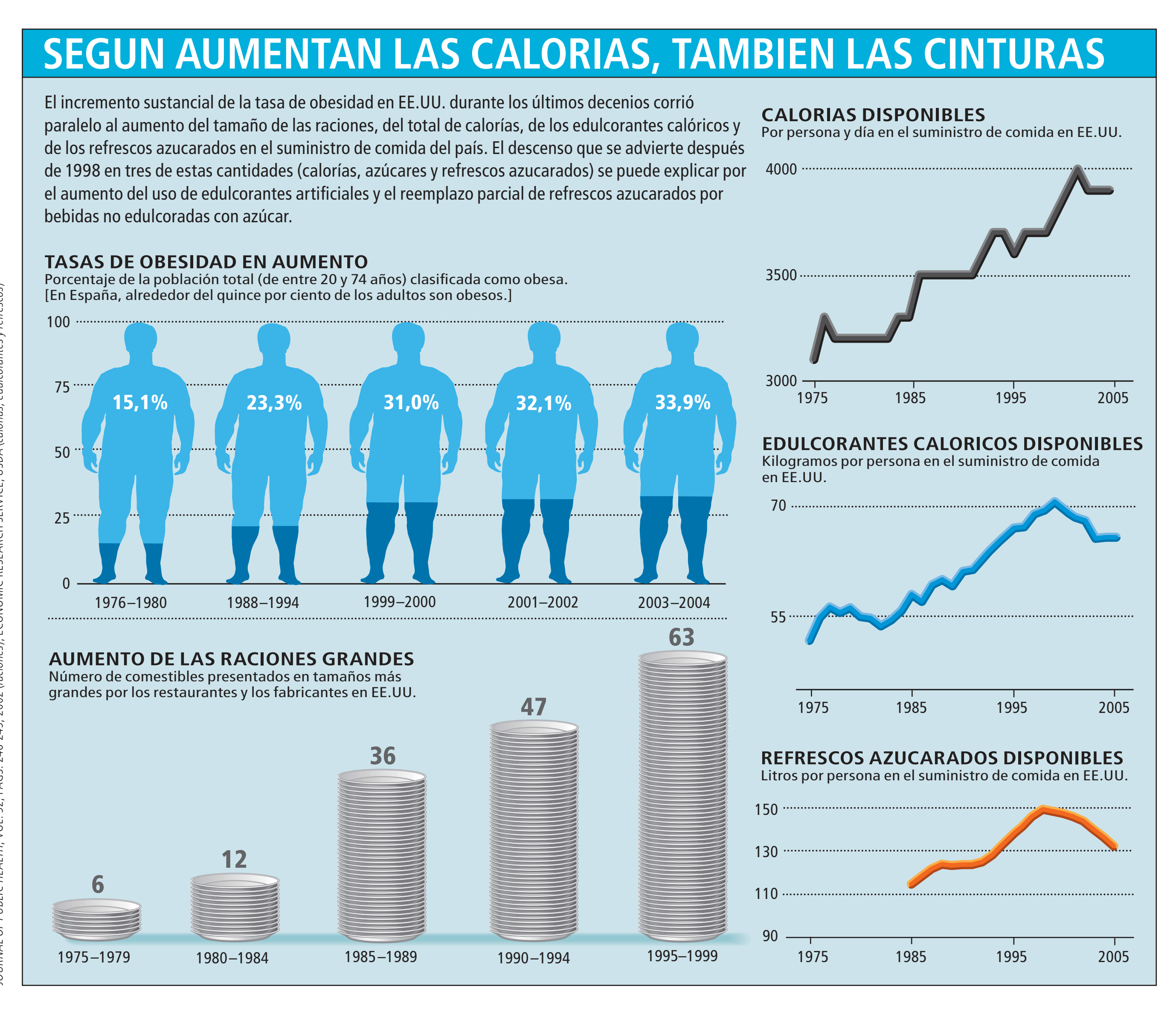
El alcohol se metaboliza de un modo que estimula la acumulación de grasa en el hígado, dando lugar a la proverbial barriga de bebedor de cerveza.

Un adulto consume cerca de 100 calorías por cada kilómetro y medio que camina o corre. Para quemar las calorías contenidas en un par de latas de refresco hay que recorrer unos cinco kilómetros.

Supermercados

Hable con quien hable, se me pide ayuda para lidiar en los supermercados, donde los consumidores han de vérselas con la diferencia entre lo que se les presenta como sano y las recomendaciones científicas. Me pasé, pues, un año visitando supermercados para ayudar al público a tener ideas más claras a la hora de escoger productos. El resultado fue mi libro *What to eat* [¿Qué comer?].

Los supermercados proporcionan un servicio público vital, pero no son agencias de asistencia social. Su trabajo consiste en vender la mayor cantidad posible de comida. Para el diseño de cada aspecto del establecimiento —desde la colocación de las estanterías hasta la música de fondo— se ha hecho un estudio de mercadotecnia. Se ha resuelto que cuantos más productos vea el cliente, más comprará; por tanto, el objetivo del establecimiento es exponer a los consumidores al mayor número de productos atractivos.



JEN CHRISTIANSEN (*gráficas*); FUENTES: “HEALTH, UNITED STATES, 2006 WITH CHARTBOOK ON TRENDS IN THE HEALTH OF AMERICANS”, NATIONAL CENTER FOR HEALTH STATISTICS, 2006 (*tasas de obesidad*); “THE CONTRIBUTION OF EXPANDING PORTION SIZES TO THE U.S. OBESITY EPIDEMIC”, POR L. R. YOUNG Y M. NESTLE EN *AMERICAN JOURNAL OF PUBLIC HEALTH*, VOL. 92, PAGS. 246-249, 2002 (*raciones*); ECONOMIC RESEARCH SERVICE, USDA (*calorías, edulcorantes y refrescos*)

Si los consumidores están confundidos sobre qué comprar, será seguramente porque para elegir hay que conocer ciertos aspectos que la ciencia no acaba de destacar y por la influencia que en ellos tienen las consideraciones económicas y sociales. Estas dudas se presentan diariamente en las tiendas de alimentación.

¿Son más sanos los productos orgánicos?

Los productos orgánicos (también denominados productos de agricultura biológica o agricultura ecológica) constituyen el sector que más crece, en parte porque hay quienes desean pagar más por lo que consideran un alimento más sano y nutritivo. El Ministerio de Agricultura estadounidense prohíbe a los campesinos que venden frutas y verduras con "certificado orgánico" usar plaguicidas sintéticos, herbicidas, abonos, semillas transgénicas, irradiación o fertilizante derivado de sedimentos de aguas residuales. Se inspecciona a los productores para comprobar que cumplen estas reglas. Aunque el Ministerio de Agricultura es responsable de los productos orgánicos, su principal cometido es promover la agricultura común, lo que explica que el Ministerio deje claro que "no declara que los productos 'ecológicos' sean más sanos o más nutritivos que los cultivados con los medios habituales. Los alimentos orgánicos se distinguen de éstos en cómo se los cultiva, manipula y procesa".

Con esta declaración se insinúa que no hay diferencias importantes. Los críticos de la comida orgánica así lo piensan; cuestionan la fiabilidad de la certificación de orgánico, y la productividad, la seguridad y los beneficios para la salud de los métodos orgánicos de producción. Mientras tanto, los campesinos y ganaderos involucrados echan en falta investigaciones que aborden esas críticas, pero los estudios son caros y difíciles de llevar a

PIRAMIDES DIETETICAS DEFECTUOSAS



1992 **2005**

Se considere o no beneficiosa la pirámide de alimentos creada por el Ministerio de Agricultura norteamericano en 1992, al menos era sencilla de usar. La guía de nutrición más conocida, en forma de triángulo, sugería la cantidad de cada categoría de alimentos —cereales, productos lácteos, frutas y verduras, carnes, grasas, aceites y dulces— que debían comerse diariamente.

Pero el Ministerio de Agricultura la reemplazó por *MyPyramid* que, en mi opinión, es un desastre. El proceso que este organismo utilizó para reemplazar la pirámide alimentaria de 1992 (*izquierda*) se ha mantenido en secreto. Continúa siendo una incógnita, por ejemplo, el simple hecho de que al Ministerio se le ocurriese diseñar una nueva guía dietética que resalta la actividad física, pero en la que no aparece la ingesta (*derecha*). Según el personal del Ministerio, hay que tener actividad física, comer con moderación, hacer una elección personalizada de las comidas, comer variedad de alimentos con el número de raciones recomendadas y perseguir una mejora gradual de la alimentación. El color y la anchura de las bandas verticales de *MyPiramid* indican los grupos de alimentos y las raciones, pero la única manera de acceder a esta información es vía informática. Los usuarios tienen que conectarse a www.pyramid.gov y escribir su sexo, edad y nivel de actividad para obtener un plan dietético "personalizado" en uno de doce niveles calóricos.

A quienes buscan consejo en este sitio de la Red, y han sido millones, les sorprende el plan que se les asigna, tal es la cantidad de comida que parece recomendar, amén de no indicar que coman menos o eviten ciertos alimentos. No sorprende que los críticos perciban en ello la influencia poderosa de los grupos de presión de la industria alimentaria. Se supone que yo, por ejemplo, debería consumir cuatro tazas de frutas y verduras, 170 gramos de cereales, 140 gramos de carne y, por supuesto, tres tazas de leche al día, junto con dos centenares de "calorías a discreción" que puedo gastar en comida basura. Pese a sus defectos, la pirámide de 1992 era más fácil de entender y aplicar.

Lo que realmente le falta a *MyPiramid* es alguna clasificación jerárquica de los artículos de cada grupo de alimentos de acuerdo con su bondad nutricional. El diseño preliminar de *MyPiramid* de 2004 se parecía mucho a la versión final, con una excepción de importancia fundamental: presentaba una clasificación jerárquica de los alimentos según la conveniencia de tomarlos. En la banda de los cereales, por ejemplo, aparecía el pan integral en la base (una clasificación positiva), la pasta en medio (una clasificación media) y la repostería arriba (en "coma menos"). En la versión final, el Ministerio de Agricultura eliminó toda clasificación jerárquica, por la razón verosímil de que los fabricantes de alimentos no quieren que las instituciones públicas recomienden que se consuma menos cantidad de sus productos, aunque tal consejo beneficiase a un público con sobrepeso.

NICK ROTONDO



3. ALGUNOS NIÑOS OBESOS CONSUMEN 1000 calorías diarias (el equivalente a alrededor de 59 terrones de azúcar) solamente en bebidas azucaradas. Lo que corresponde a unas dos botellas de litro.

BRIAN MARANAN PINEDA

cabo. Aun así, las investigaciones que se han realizado en esta área demuestran que las explotaciones "ecológicas" son casi tan rentables como las corrientes, utilizan menos energía y dejan los suelos en mejores condiciones. Quienes se alimentan con productos obtenidos sin plaguicidas sintéticos deberían tener menos sustancias químicas en su cuerpo. Y así es. Puesto que las reglas de producción de la agricultura "ecológica" exigen un pretratamiento del estiércol y otros pasos para reducir la cantidad de agentes patógenos en los tratamientos del suelo, las frutas y verduras "ecológicas" tendrían que ser tan sanas —o más— que las cultivadas por medios habituales.

Tales productos orgánicos deberían ser al menos tan nutritivos como los que no están catalogados así. Demostrar que los productos orgánicos son más nutritivos ayudaría a justificar sus precios más elevados. En lo que se refiere a los minerales, no es una tarea difícil. El contenido de minerales en las plantas depende de la cantidad que haya en el suelo donde se las cultive. Los productos del campo orgánicos se cultivan en suelos más ricos; por tanto, su contenido en minerales es más alto.

Pero las diferencias son más difíciles de demostrar en lo referente a las vitaminas o los antioxidantes (sustancias de la planta que reducen el daño que los radicales libres producen en el tejido); los niveles más elevados de estos nutrientes tienen que ver con la variedad genética del vegetal, o con los cuidados que se le proporcionen después de la recolecta, más que con los métodos de producción. Aun así, los primeros trabajos muestran ya ciertas ventajas de los orgánicos: las peras y los melocotones "ecológicos" contienen mayor cantidad de vitaminas C y E; más antioxidantes, las bayas y el maíz procedentes de cultivos "biológicos".

La investigación ulterior habrá de confirmar que los productos "ecológicos" presentan niveles más altos de nutrientes. Sin embargo, no está claro que ello mejore la salud de forma apreciable. Todas las frutas y verduras contienen nutrientes útiles, si bien es cierto que en distintas combinaciones y concentraciones. Consumir una buena variedad de productos vegetales parece más importante para la salud que las pequeñas diferencias en el contenido de nutrientes de unos u otros. Puede que los productos orgánicos sean sólo un poco más saludables, pero es mucho menos probable que dañen el medio ambiente, razón suficiente para optar por ellos en la plaza.

Los productos lácteos y el calcio

No es fácil determinar los efectos de los productos lácteos en la salud. La leche tiene muchos componentes y la salud de quienes consumen leche o productos lácteos depende también del resto de su alimentación y de su actividad física. Pero esta área de investigación es especialmente controvertida porque afecta a una industria que promociona con vigor los productos lácteos por ser beneficiosos y combate lo que se diga en contra.

Los productos lácteos aportan alrededor del 70 por ciento del calcio de la dieta norteamericana. Este mineral necesario es un componente principal de los huesos, que pierden y recuperan calcio constantemente durante el metabolismo normal. La alimentación debe contener el calcio suficiente para sustituir el que se pierde; si no, los huesos se fracturarán con mayor facilidad. Los expertos aconsejan el consumo mínimo de un gramo de calcio al día para reemplazar las pérdidas diarias. Solamente los productos lácteos aportan esta cantidad de calcio sin complementos.

Pero los huesos no están hechos sólo de calcio; necesitan todo un complemento de nutrientes esenciales para mantener su resistencia. Quienes realizan actividades físicas y no fuman ni beben demasiado alcohol tienen huesos más resistentes. Los estudios que examinan por separado los nutrientes que contienen los productos lácteos muestran que algunos factores nutricionales —magnesio, potasio, vitamina D y lactosa, por ejemplo— potencian la retención de calcio en los huesos. Otros, como las proteínas, el fósforo y el sodio, fomentan la

La autora

Marion Nestle **ocupa la cátedra Paulette Goddard, del departamento de nutrición, estudios de los alimentos y salud pública de la Universidad de Nueva York, donde enseña también sociología. Es doctora en biología molecular y máster en nutrición y salud pública por la Universidad de California en Berkeley.**

excreción de calcio. Por consiguiente, la resistencia de los huesos depende de las pautas de la alimentación en conjunto y de la conducta más que de la mera ingesta de calcio.

Las poblaciones que no consumen habitualmente productos lácteos parecen mostrar tasas más bajas de fractura de huesos a pesar de que ingieren mucho menos calcio del recomendado. La razón no está muy clara. Quizá sus dietas contienen menos proteínas de carne y de productos lácteos, menos sodio de comidas procesadas y menos fósforo de bebidas, por lo que retienen calcio de forma más eficaz. El hecho de que el equilibrio del calcio dependa de múltiples factores explicaría por qué las tasas de osteoporosis (pérdida de densidad ósea) son más altas en países donde se ingieren más productos lácteos. Nuevas investigaciones podrían aclarar estas observaciones que parecen contrarias a la intuición.

Mientras tanto, está bien consumir productos lácteos si a uno le gustan, pero no son una exigencia nutricional. Las vacas no beben leche después del destete y sus huesos soportan cuerpos de más de 400 kilogramos. Las vacas se alimentan de hierba, y la hierba contiene calcio en pequeñas cantidades, que bastan para mantener el equilibrio. Si se come mucha fruta, verdura y cereal integral, se pueden tener huesos sanos sin necesidad de consumir productos lácteos.

La carne

Los críticos achacan a la carne el aumento del colesterol en sangre, con el riesgo asociado de cardiopatías, cáncer y otras enfermedades. Los partidarios apuntan a la ausencia de resultados científicos convincentes que justifiquen tales alegaciones, y resaltan los beneficios nutritivos de las proteínas, las

PERDER PESO SIN RECUPERARLO

El pasado marzo, un grupo de investigadores de la Universidad de Stanford publicó los resultados de uno de los análisis comparados más extensos de programas sobre pérdida de peso jamás realizado. Tres de las cuatro dietas incluidas en el estudio son regímenes de los que se ha hecho mucha publicidad y que han dado fama a sus creadores: las dietas Atkins y Zone, que se basan en alimentos de alto contenido proteínico, y la dieta Ornish, un plan dietético que prohíbe la mayoría de los alimentos grasos. La cuarta era la dieta corriente, de bajo contenido en grasas, que recomiendan los expertos en nutrición.

Los resultados, publicados en el *Journal of the American Medical Association*, constituyeron una auténtica sorpresa, pues parecían invalidar el sentir común. La dieta de bajo contenido en grasas recomendada por los expertos fue superada por las cenas con filetes y el desayuno con huevos y beicon de Atkins. Al año de empezar con la dieta, quienes siguieron el plan Atkins —que promociona sin complejos las proteínas con alto contenido en grasas, como las carnes y los productos lácteos, para mantener saciados a quienes hacen la dieta— habían perdido una media de más de 4,5 kilos. Los sujetos de las otras dietas habían adelgazado entre 1,3 y 2,7 kilos (*véase la gráfica de la página contigua*). Además, los integrantes del grupo del plan Atkins no mostraron aumento de colesterol en sangre, a pesar del alto nivel de colesterol de la dieta.

Los periodistas se lanzaron a escribir titulares obvios: "Atkins resulta la mejor...", afirmaba el Washington Post. "Atkins derrota a Zone, a Ornish y a la dieta recomendada en EE.UU.", declaraba Associated Press. En todas partes se decía lo mismo: Atkins había vencido en la competición.

La versión de los periódicos no era equivocada. Pero el autor principal del estudio de Stanford, Christopher D. Gardner, sugiere una interpretación de los resultados diferente. En el estudio, la pérdida de peso de los cuatro grupos fue muy modesta. Todos los grupos mostraron también una mejora en los niveles individuales de colesterol, presión sanguínea e insulina, pese a que ninguno de ellos siguió estrictamente el plan dietético. Además, lejos de invalidar las ideas establecidas sobre las dietas bajas en grasas, la investigación de Stanford proporciona una confirmación rotunda de otra creencia popular: la mayoría de quienes intentan perder peso, en cualquier dieta, tendrá éxito, si bien muchos lo recuperarán más tarde.

Contrastemos estas conclusiones con los resultados de otro estudio realizado por investigadores de la Universidad de California en Los Angeles, publicado en el número de abril de *American Psychologist*. Analizaron 31 estudios sobre dietas de larga duración y descubrieron que la mayoría de los participantes, como decía Gardner, obtuvieron resultados: perdieron entre el 5 y el 10 por ciento de su masa corporal total. Y lo hicieron con todos los tipos de dietas. Pero, a la larga, la mayoría también recuperó todo ese peso, algunos incluso más del que habían perdido. Sólo una exigua minoría de los sujetos de los 31 estudios no recuperó los kilos que había perdido. ¿Cuál es la conclusión de los investigadores? Coma con moderación y haga ejercicio regularmente. (Este dictamen concuerda con la recomendación similar que la nutricionista Marion Nestle expone en el artículo.)

Gardner piensa que la advertencia habitual de recortar el consumo de grasas ha resultado ser un mensaje equivocado. Los expertos en salud pública lo entendieron mal. Se nos ha vuelto en contra, sostiene. Quienes consumen menos grasas a menudo las reemplazan por refrescos azucarados y alimentos con poca fibra, ricos en hidratos de carbono, de grano refina-

1. LA DIETA YO-YO es insana.

NICK ROTONDO (*ilustración*); JEN CHRISTIANSEN (*gráfica*); FUENTE DE LOS DATOS DE LA COLUMNA LATERAL DERECHA: "CALCIUM AND OSTEOPOROSIS?" POR D. M. HEGSTED, EN *ADVANCES IN NUTRITIONAL RESEARCH*, VOL. 9, PAGS. 119-128; 1994 Y "CALCIUM AND OSTEOPOROSIS" POR D. M. HEGSTED EN *JOURNAL OF NUTRITION*, VOL 116, N.º 11, PAGS. 2316-2319; 1986

vitaminas y los minerales de la carne. Los estudios en países en vías de desarrollo demuestran que la salud de los niños mejora si se les alimenta con carne, incluso en cantidades pequeñas.

Pero como en el herbario de la vaca las bacterias agregan átomos de hidrógeno a los ácidos grasos no saturados, la grasa de la carne de vaca es altamente saturada. Este tipo de grasa incrementa el riesgo de contraer una enfermedad cardiovascular. No hay grasa o aceite que no contenga ácidos grasos saturados; ahora bien, la grasa animal, especialmente la de la carne de vaca, contiene más ácidos grasos saturados que las grasas vegetales. Los nutricionistas recomiendan no comer más de una cucharada (20 gramos) de ácidos grasos saturados al día. Los consumidores de carne de vaca llegan a este límite o lo exceden. La hamburguesa de queso más pequeña de McDonald's contiene 6 gramos de ácidos grasos saturados, pero hay hamburguesas pantagruélicas con 45 gramos.

En cambio, no está tan claro por qué habría la carne de incrementar el riesgo de contraer cáncer. Aunque se empezó a vincular la carne al cáncer en los años setenta, tras decenios de investigaciones no se ha resuelto si el factor relevante sería la grasa, la grasa saturada, las proteínas, los agentes carcinógenos o algún otro. Para finales de los noventa, sólo se sabía que comer carne de vaca probablemente incrementaba la probabilidad de tener cáncer de colon y cáncer rectal, y quizá también de sufrir cáncer de mama, de próstata y de algunos otros tipos. Ante semejante incertidumbre, la Sociedad Norteamericana del Cáncer sugiere que se opte por las partes magras, raciones más pequeñas y alternativas como el pollo, el pescado o las judías, en concordancia con

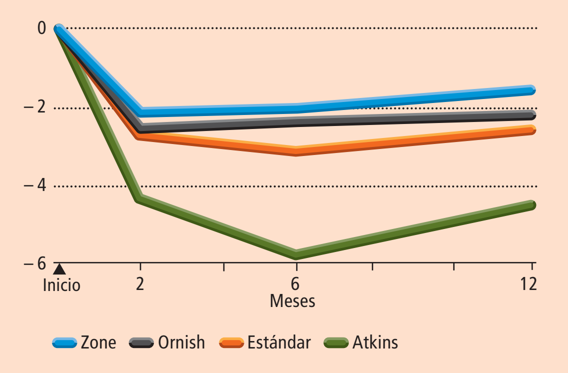
do. Como resultado, la epidemia de obesidad continúa creciendo. Las calorías han seguido aumentando sin pausa, sobre todo las procedentes de los hidratos de carbono refinados.

El plan dietético Atkins aconseja a quienes lo siguen preocuparse menos por las grasas, dirigirse más hacia las verduras y proteínas y apartarse de azúcares e hidratos de carbono refinados. "Quizá sea mejor y más simple pedirle al público que reduzca los carbohidratos, no las grasas", dice Gardner. "Les decimos que reduzcan los carbohidratos y lo entienden. Se quitan un par de refrescos gaseosos o un par de galletas, y eso cuenta."

James Hill, psicólogo y experto en adelgazamiento, está de acuerdo en que el enfoque de Atkins es eficaz. "La dieta Atkins es excelente para adelgazar", dice. "Pero no para mantenerse. No hay manera de perder peso para siempre."

COMPETICION ENTRE LOS PLANES DIETETICOS

La media de peso cambia con el tiempo (en kilogramos)



2. AL CONTRARIO DE LO QUE SE ESPERABA, con la dieta Atkins, de alto contenido en grasas, se consiguieron pérdidas de peso superiores a las de los otros tres conocidos planes de adelgazamiento.

Hill no está especialmente interesado en inventar dietas ni en compararlas. La parte de perder peso es la que mejor hacemos, declara. Una de sus áreas de investigación tiene que ver con individuos que han perdido peso y no lo han recuperado. Hill y Rena Wing, de la Universidad de Brown, han establecido el Registro Nacional de Control de Peso para recoger información sobre personas que hayan perdido al menos 15 kilos y no los hayan recuperado en un año. Muchos han perdido bastantes más; el promedio es de más de 31 kilos, sin recuperarlos durante seis años. "Si observamos cómo adelgazaron, nos percataremos de que las circunstancias no son similares en absoluto", dice Hill, pero "si nos fijamos en cómo lo han mantenido, las circunstancias se parecen mucho".

La clave, continúa, es el ejercicio. "La actividad se convierte en el motor; restringir la comida no funciona. La idea de que se va a estar pasando hambre el resto de tu vida es ridícula". Los incluidos en el Registro hacen un promedio de una hora de ejercicio al día, algunos incluso 90 minutos. También mantienen un nivel bastante bajo de grasas en la dieta, alrededor del 25 por ciento de su ingesta calórica. Casi todos desayunan a diario y se pesan regularmente. "Nos dicen dos cosas", afirma Hill. "La calidad de vida es más alta; la vida es mejor de lo que era antes. Y llegan a un punto en el que la actividad física, no es que les encante, pero sí ha pasado a formar parte de su vida."

Hill admite que integrar una hora o más de ejercicio al día es difícil, por eso siempre hace hincapié en la prevención. Muchas de estas personas podrían haber evitado la obesidad desde el principio con sólo 15 o 20 minutos de ejercicio diario. Haber sido obeso pasa factura, afirma. "Para compensarlo hay que hacer mucha actividad física."

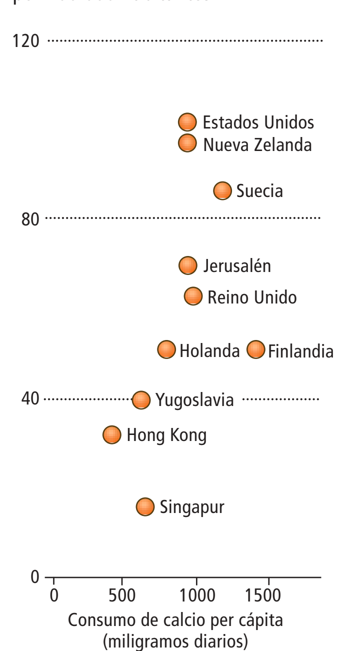
Paul Raeburn

¿LECHE NO?

Sorprendentemente, según varios estudios descriptivos, algunas poblaciones que consumen pocos productos lácteos ricos en calcio presentan tasas más bajas de fractura de cadera que otras que consumen mayores cantidades de productos lácteos, a pesar de que las dietas del primer grupo contienen mucho menos calcio de lo que los expertos recomiendan. Esta observación no ha recibido una explicación convincente.

Ingesta de calcio y fracturas de cadera

Incidencia de fracturas de cadera por 100.000 habitantes





4. LOS ACIDOS GRASOS OMEGA-3 que, según algunos investigadores, protegen de las enfermedades del corazón, se encuentran en pescados grasos como el salmón y la trucha.

las recomendaciones alimentarias básicas que hoy se hacen.

El pescado y las enfermedades del corazón

Los pescados grasos son la fuente más importante de ácidos grasos omega-3 de cadena larga. A principios de los setenta, un equipo de investigación danés observó con sorpresa que entre las poblaciones autóctonas de Groenlandia, que comían a menudo pescados grasos, focas y ballenas, era baja la frecuencia de enfermedades de corazón. Atribuyeron el efecto protector a los ácidos grasos omega-3 de esos alimentos. Algunos estudios posteriores —no todos— han confirmado la idea.

Sin embargo, como es probable que los pescados grandes y grasos, por ser predadores, acumulen metilmercurio y otras toxinas, cabe dudar de cuál sea el balance final de lo perjudicial y lo beneficioso. Es comprensible que la industria de la alimentación se esfuerce en demostrar que las virtudes de los omega-3 compensan con creces cualquier riesgo de comer pescado.

Incluso los estudios desinteresados sobre las grasas omega-3 admiten interpretaciones diversas. En 2004, la Administración Nacional del Mar y la Atmósfera de Estados Unidos —agencia que equivale al Ministerio de Agricultura en lo relativo al pescado— pidió al Instituto de Medicina que revisara los estudios sobre los beneficios y perjuicios de comer pescado. Las conclusiones de ese examen en lo que se refería a las enfermedades cardiacas ilustran lo difícil que resulta interpretar este tipo de investigaciones.

El informe que el Instituto publicó en octubre 2006 llegaba a la conclusión de que comer pescado reducía el riesgo de cardiopatías, aunque declaraba que los estudios no permitían establecer que se debiera a las grasas omega-3. Por contra, los investigadores de la Escuela de Salud Pública de Harvard publicaron un informe mucho más positivo en el *Journal of the American Medical Association* el mismo mes. Incluso un consumo moderado de omega-3 de pescado, afirmaban, reduciría las muertes por enfermedades coronarias en un 36 por ciento y la mortalidad total en un 17 por ciento. Según esto, no comer pescado constituiría un riesgo para la salud.

Las diferencias en la interpretación explican que investigadores competentes arriben a conclusiones tan dispares, tras tomar en consideración los mismos estudios. Los dos grupos, por ejemplo, extrajeron resoluciones opuestas sobre una investigación publicada en marzo de 2006 en el *British Medical Journal*. El estudio no encontró que los omega-3 incrementaran el riesgo de contraer enfermedades cardiacas ni la mortalidad, pese a que una parte de los estudios originales mostraba una reducción del 14 por ciento en la mortalidad total, aunque sin que llegara a ser significativo estadísticamente. El equipo del Instituto interpretó ese no ser significativo estadísticamente como prueba de que debía procederse con cautela, mientras que el grupo de Harvard consideró que se trataba de datos congruentes con los estudios que reportaban beneficios de los omega-3. Cuando los estudios presentan resultados incompatibles, ambas interpretaciones son admisibles. Yo soy partidaria de la prudencia en este tipo de situaciones, pero no todos piensan lo mismo.

Como los resultados presentan discrepancias, las hay también a la hora de recomendar el pescado. La Asociación Norteamericana del Corazón recomienda que los adultos coman pescados grasos, al menos dos veces por semana; en cambio, las directrices dietéticas norteamericanas dicen: “Ciertos indicios parecen indicar que hay una relación entre el consumo de ácidos grasos del pescado y la reducción del riesgo de mortalidad por enfermedad cardiovascular en la población en general... sin embargo, se necesita más investigación”. Sea cierto o no que el pescado protege de las enfermedades cardiacas, se trata de una fuente deliciosa de muchos nutrientes, y no es probable que haga algún daño consumir dos raciones pequeñas a la semana de la clase menos predadora.

Las bebidas y la obesidad

Los edulcorantes de azúcar y maíz aportan un buen porcentaje de las calorías de los productos de supermercado. Casi todas las calorías de las bebidas —refrescos, bebidas isotónicas y zumo— provienen de azúcares añadidos.

SUPERMERCADOS DE DISEÑO

Los expertos en mercadotecnia diseñan las característica de los hipermercados —de la ubicación de los productos al tipo de música— pensando en cómo maximizar las ventas.

Cuando los clientes entran en una tienda de comestibles, lo primero que ven suele ser colorido, aromático y apetecible; productos frescos, por ejemplo.

Los expositores de los largos pasillos centrales y del pasillo del fondo están repletos de productos, forzando a los compradores a pasar por delante de muchos artículos que podrían comprar sólo por impulso.

Las industrias alimentarias pagan a los supermercados para que coloquen muy a la vista ciertos productos —patatas fritas y otra comida basura— en enormes expositores.

La zona donde se forman las colas de las cajas está atestada de dulces y otros productos de comida basura; son la última tentación.

BRIAN MARANA PINEDA

El consumo diario per cápita de bebidas azucaradas ha incrementado en alrededor de 200 calorías desde principios de los años ochenta, una tendencia que guarda una correlación próxima con el aumento de la tasa de obesidad. Aunque el sentido común sugiere que este incremento puede tener algo que ver con el aumento de peso, los fabricantes de bebidas argumentan que los estudios no pueden demostrar que las bebidas azucaradas por sí solas —independientemente de las calorías o de otros alimentos de la dieta— incrementen el riesgo de obesidad. Los indicios, dicen correctamente, son circunstanciales. Pero los pediatras a menudo atienden en sus consultas a niños obesos que consumen más de 1000 calorías diarias procedentes de bebidas azucaradas. Varios estudios indican que los niños que las beben habitualmente ingieren más calorías y pesan más que los que no las consumen.

Sin embargo, los efectos de las bebidas azucaradas en la obesidad continúan sujetos a interpretación. En 2006, por ejemplo, una revisión sistemática, costeada por fuentes independientes, descubrió que fomentaban la obesidad en niños y en adultos. Pero el mismo año, otra revisión, pagada en parte por una asociación comercial de bebidas, concluyó que no afectaban especialmente a la obesidad. Los investigadores subvencionados por la industria advertían de que los estudios existentes eran a corto plazo y no concluyentes; remitían a otros estudios que mostraban que quienes reemplazan otros alimentos por bebidas endulzadas adelgazan.

Estas diferencias muestran que se debe inspeccionar el patrocinio de investigaciones por las empresas de la alimentación. Muchos científicos se ofenden cuando se insinúa que esas ayudas económicas influyen en su manera de diseñar o interpretar un estudio, pero lo cierto es que el análisis sistemático dice que tal influencia existe. En 2007, unos investigadores compararon los estudios que tratan de los efectos de las bebidas azucaradas, y de otros tipos, en la salud teniendo en cuenta quién los había patrocinado. Los estudios respaldados por la industria tendían más a resultar favorables al patrocinador que los financiados por fuentes independientes. Aunque no se haya podido demostrar que las bebidas azucaradas causen obesidad, tiene sentido que quien esté interesado en perder peso las consuma menos.

Los ejemplos que he analizado explican que la ciencia de la nutrición parezca tan polémica. Si no se mejoran los métodos para garantizar que los regímenes dietéticos se cumplen, las investigaciones seguirán suscitando polémicas. Puntos de vista contrapuestos, e investigaciones y publicidad centradas en los nutrientes por separado, en vez de en las pautas de la alimentación en su conjunto, siguen echando leña a estas disputas. Mientras esperamos a que se encuentren mejores vías para estudiar la nutrición y la salud, mi enfoque —coma menos, muévase más, siga una dieta sobre todo vegetal y no se exceda con la comida basura— tendrá sentido y le permitirá disfrutar con la comida.

5. QUE COMER: Las frutas, verduras y cereales integrales constituyen los principales ingredientes de una dieta sana.



BRIAN MARANA PINEDA

Bibliografía complementaria

LOW-FAT DIETARY PATTERN AND RISK OF INVASIVE BREAST CANCER: THE WOMEN'S HEALTH INITIATIVE RANDOMIZED CONTROLLED DIETARY MODIFICATION TRIAL. Ross L. Prentice et al. en *Journal of the American Medical Association*, vol. 295, n.º 6, págs. 629-642; 8 de febrero, 2006.

WHAT TO EAT. Marion Nestle. North Point Press, 2006.

RELATIONSHIP BETWEEN FUNDING SOURCE AND CONCLUSION AMONG NUTRITION-RELATED SCIENTIFIC ARTICLES. L. I. Lesser, C. B. Ebbeling, M. Goozner, D. Wypij y D. S. Ludwig en *PLoS Medicine*, vol. 4, n.º 1, artículo e5, págs. 41-46; 9 de enero, 2007.

EFFECTS OF SOFT DRINK CONSUMPTION ON NUTRITION AND HEALTH: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS. L. R. Vartanian, M. B. Schwartz y K. D. Brownell en *American Journal of Public Health*, vol. 97, n.º 4, págs. 667-675; abril, 2007.

FOOD POLITICS: HOW THE FOOD INDUSTRY INFLUENCES NUTRITION AND HEALTH. Edición corregida. University of California Press, 2007.

¿POR QUE ENGORDAMOS?

La comprensión del modo en que el metabolismo lipídico se subvierte y provoca obesidad revela nuevas formas de vencer el sobrepeso

Jeffrey S. Flier y Eleftheria Maratos-Flier

CONCEPTOS BASICOS

- La capacidad de nuestro organismo para almacenar energía y usarla más adelante resultó fundamental para sobrevivir en condiciones de escasez de comida. En el mundo de abundancia actual, la obesidad amenaza la vida de un número creciente de personas.
- Se está avanzando en la comprensión de los mecanismos que regulan el almacenamiento de energía en forma de grasa, así como el modo en que éstos se desequilibran y provocan obesidad.
- Conforme se descubren los componentes de este sistema de regulación, se identifican nuevas dianas farmacológicas para tratamientos que restablezcan el equilibrio energético y reviertan la obesidad.

Desde los albores de la humanidad, y durante la mayor parte de nuestra historia, comer era literalmente una cuestión de "aquí te pillo, aquí te mato". Para sobrevivir en esas condiciones de acceso intermitente a la comida, resultaba de gran ayuda la capacidad de almacenar la energía ingerida, donde recurrir en momentos de carencia. El tejido adiposo, la grasa, es el órgano especializado en esa tarea.

Nuestra capacidad para almacenar grasa reviste una importancia vital. Permite que una persona sobreviva a la inanición durante varios meses. Sin embargo, en la etapa más reciente de la historia de la humanidad, esa reserva energética en forma de grasa ha ido creciendo en numerosas poblaciones. Cuando la grasa corporal es tan abundante que pone en peligro la salud del individuo, decimos que provoca obesidad.

En parte, esa tendencia a engordar deriva del progreso de la técnica: cuando abunda la comida y disminuye la necesidad de realizar actividad física resulta demasiado fácil ingerir más energía de la que uno necesita. Sin embargo, cuando se las expone a ese entorno de opulencia, algunas personas muestran mayor tendencia que otras a convertirse en obesas; ello sugiere que las variaciones fisiológicas individuales podrían también repercutir en la cantidad de energía que ingerimos, consumimos o almacenamos en forma de grasa.

La presión sanguínea, la temperatura corporal, la concentración de glucosa en sangre, el balance hídrico y otros parámetros críticos del organismo se hallan estrictamente regulados por mecanismos automáticos. Se desconoce todavía si el peso corporal se regula de una forma similar. Esa cuestión ha sido, durante largo tiempo, objeto de un intenso debate. Hasta fecha reciente no se han empezado a identificar las vías metabólicas y de señalización celular que podrían intervenir en un sistema regulador de ese tipo para la grasa.

El conocimiento sobre los mecanismos que nuestro organismo utiliza para detectar y responder a las necesidades energéticas y de almacenamiento está ayudando a comprender el modo en que dichos mecanismos se ven afectados por nuestro perfil génico y cómo pueden verse deshechos por los factores ambientales así como por el propio exceso de grasa. Conforme se acumulan los hallazgos, los expertos van adquiriendo una imagen más clara de los complejos sistemas fisiológicos que participan en el control de la acumulación de grasa; asimismo, descubren nuevas dianas terapéuticas que facilitarían un mayor control en su batalla contra el sobrepeso.

¿Existe un lipostato?

Cualquier sistema de regulación fisiológica requiere un mecanismo que detecte la cantidad presente de una sustancia específica y transforme esa información en acciones que mantengan la variable de marras dentro de los valores deseados. En ese orden, las necesidades energéticas inmediatas de las células humanas son cubiertas por la glucosa, procedente de los alimentos, que circula por el torrente sanguíneo.

En condiciones normales, el organismo mantiene el nivel de glucosa entre unos lími-

JON KRAUSE



tes estrechos. Cuando aumenta la concentración de glucosa en sangre, ciertas células del páncreas detectan el cambio y segregan más insulina; ello hace que el músculo y el tejido adiposo capten y utilicen mayor cantidad de glucosa, al tiempo que remite la producción hepática de glucosa.

Los adipocitos convierten en triglicérido (un derivado de los ácidos grasos) el exceso de energía que han ingerido. Cuando no hay alimento disponible y el nivel de insulina disminuye, los adipocitos liberan triglicéridos al torrente sanguíneo; desde aquí alcanzan el hígado y se metabolizan para convertirse en cetonas, que sirven de combustible para el músculo y el cerebro.

Estudios realizados en animales y en humanos sugieren que los mamíferos contamos con mecanismos que realizan un seguimiento de la cantidad de energía almacenada en forma de grasa y regulan esa reserva para que permanezca en torno a un valor determinado. Si un animal ha mantenido su peso estable, la alteración de su ingesta energética provocará cambios físicos y de comportamiento que parecen estar orientados al restablecimiento del peso anterior. Un animal al que se le prive repentinamente de alimento, tenderá a reducir su gasto energético mediante la disminución de la actividad física y del consumo energético celular; consigue así limitar la pérdida de peso. Dado que experimenta también una mayor sensación de hambre, una vez terminada la restricción comerá más de lo que solía comer hasta recuperar el peso anterior. De forma análoga, tras un período de sobrealimentación forzada, un animal comenzará a gastar más energía y su apetito se verá reducido; ambos estados se mantendrán hasta que el peso disminuya y recupere el valor original.

La ausencia de un sistema regulador que controle el peso corporal entrañaría consecuencias graves. Por ejemplo, un consumo de energía sólo un 1 por ciento mayor que el gasto energético provocaría que un hombre de tamaño medio engordara más de 27 kilos en 30 años. Pero, ¿poseen los humanos un sistema similar al que controla el nivel de glucosa en sangre, que sea capaz de mantener el equilibrio de la energía almacenada? La respuesta es sí. Aunque imperfecto, ese sistema existe y los investigadores, entre los que se incluyen nuestros respectivos grupos de investigación, están cosechando avances esperanzadores en la identificación de sus componentes.

A medida que van encajando las piezas del rompecabezas, se dibuja un panorama que no sorprenderá a los lectores que hayan intentado perder peso: los mecanismos de regulación del cuerpo humano parecen estar ligeramente sesgados a favor de conservar la grasa en vez de eliminarla. Dada la importancia que tiene la grasa para la supervivencia, esa tendencia tiene sentido desde el punto de vista evolutivo. Es más, a lo largo del tiempo, la evolución podría haber favorecido variaciones génicas que diesen lugar a una gestión lo más "tacaña" posible de las preciosas reservas energéticas.

En ocasiones, las diferencias en la tendencia hacia la obesidad entre subgrupos de personas responden a diferencias en el perfil génico. En un estudio reciente, en el que han participado 40.000 sujetos de todo el mundo, se ha identificado el gen *FTO*, cuya modificación se ha relacionado con la obesidad. En todos los países estudiados, los portadores de una variante de *FTO* pesaban, por término medio, tres kilos más que el resto de la población; asimismo, presentaban casi el doble de riesgo de convertirse en obesos. Desconocemos todavía la función del gen *FTO* y el modo en que podría promover la obesidad, pero su relación con el aumento de la masa corporal sugiere que podría participar en la regulación del peso.

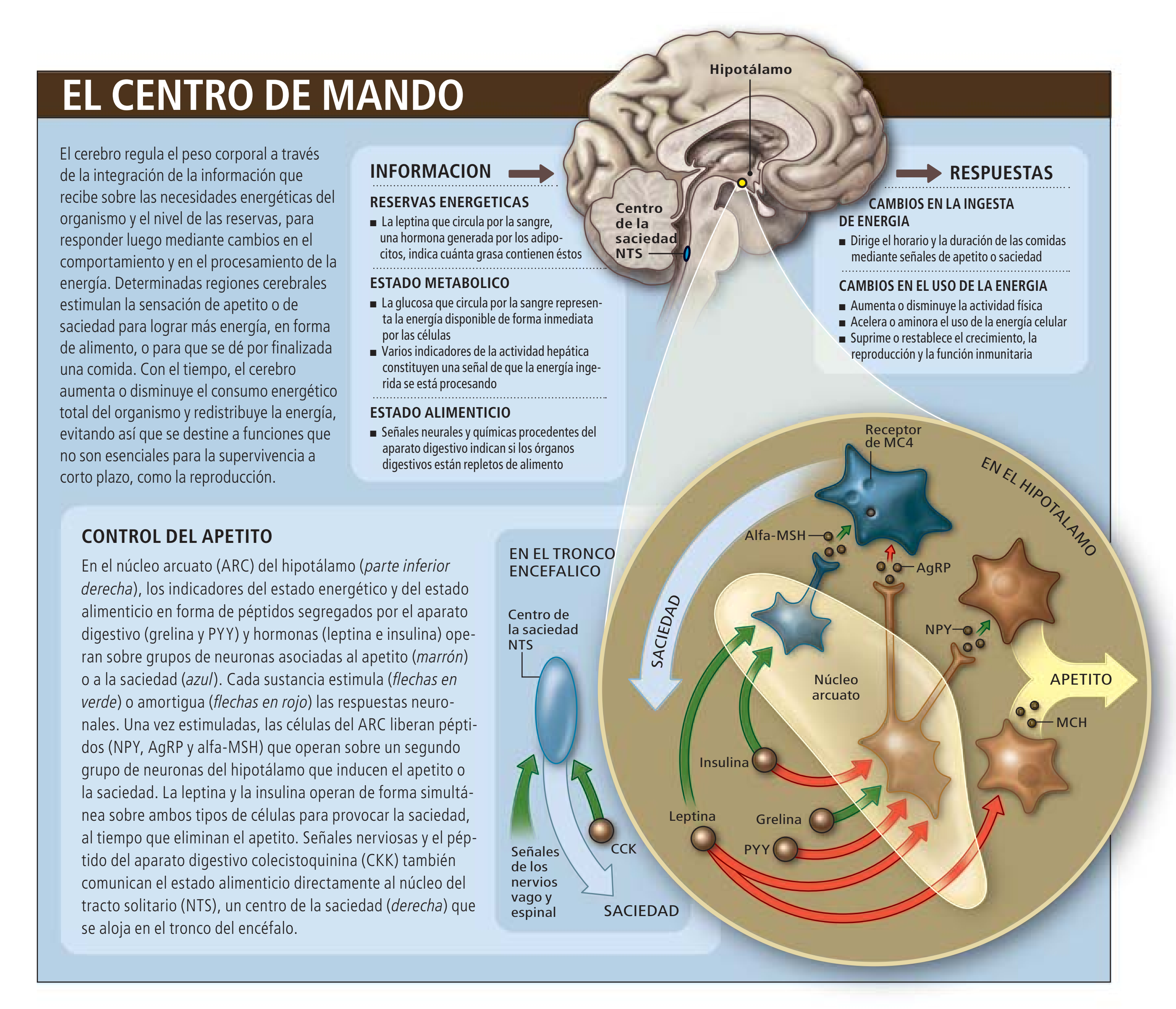
Sin embargo, los genes no operan de forma independiente, aislados de su medio. Además, el genoma humano apenas si ha cambiado durante los últimos decenios. Por tanto, para explicar la reciente epidemia de obesidad hará falta un conocimiento más hondo del modo en que las variantes génicas interaccionan con el entorno del individuo para afectar también al peso corporal.

Algunos de los factores ambientales que deben influir en la regulación del peso resultan obvios: la menor necesidad de realizar esfuerzos físicos para la supervivencia y el aumento en la cantidad y calidad de los alimentos disponibles. Otras variables ambientales, menos evidentes, se ignoran; por ejemplo, el efecto de la nutrición durante el desarrollo fetal sobre el peso corporal en las etapas posteriores de la vida. El estrés y la falta de sueño, así como las infecciones víricas y la composición de la microbiota benigna que medra en el interior de nuestro organismo, podrían condicionar la regulación de la grasa corporal.

No obstante, la identificación de los genes que participan en la gestión de la grasa está arrojando luz sobre algunos de los principales mecanismos implicados. Y si seguimos el rastro de las señales proteicas que codifican esos genes, llegamos —sin gran sorpresa— al centro general de mando de multitud de procesos fisiológicos: el cerebro.

Integración de la información

Muy pocas cosas ocurren en el cuerpo humano sin que intervenga el cerebro, sea para realizar un seguimiento de la situación o para



ejercer su influencia. Cabe, pues, esperar que el cerebro desempeñe un papel fundamental en la regulación del peso: a través del control del apetito, la motivación y la actividad física, y mediante la gestión de la distribución de la energía en el interior del organismo.

Desde hace años se sabe que una pequeña región de la base del cerebro, el hipotálamo, resulta fundamental para la regulación de la energía. En estudios realizados con animales, la provocación de microlesiones en esa región causó obesidad o delgadez, en función de la ubicación precisa. De ahí que determinadas zonas del hipotálamo se hayan identificado como centros de la "saciedad" o del "apetito".

Mediante la estimulación de la sensación de apetito o de saciedad, el cerebro controla directamente el balance energético del organismo, día a día. A más largo plazo, cuando las reservas de grasa escasean y debe conservarse la energía para la supervivencia, el cerebro recurre también a la supresión de funciones no esenciales, como el crecimiento y la reproducción. Sin embargo, para que el cerebro pueda dirigir cualquiera de esos mecanismos en respuesta a las necesidades del organismo, debe recibir información actualizada sobre la cantidad de energía almacenada que se encuentra disponible.

¿Cuál podría ser ese indicador del nivel de las reservas energéticas y cómo operaría? Se conocen varias moléculas que modifican el apetito a medida que aumenta, o disminuye, su concentración en sangre. Entre éstas se incluyen varios productos de la degradación de los alimentos (glucosa) y hormonas procedentes del intestino (insulina y colecistoquinina, o CCK). Pero la identificación del indicador energético fundamental se venía resistiendo, hasta que, en 1994, el grupo encabezado por Jeffrey Friedman, de la Universidad Rockefeller, descubrió la leptina.

Decenios antes, apareció un síndrome de obesidad severa con incremento del apetito y

JEN CHRISTIANSEN

MENSAJES MEZCLADOS

Los órganos del aparato digestivo y el propio tejido adiposo emiten importantes señales que desencadenan en el cerebro y en otros tejidos del organismo respuestas encaminadas a regular la energía. Esas señales corresponden a indicadores a corto plazo del estado alimenticio (los impulsos nerviosos y la segregación de péptidos generados justo antes y después de las comidas) y a información a largo plazo sobre el nivel de energía almacenada. Además de la leptina, que indica al cerebro el nivel de grasa corporal, los adipocitos segregan casi una docena de hormonas: las adipocinas. Por lo menos dos de ellas alteran de forma directa la respuesta de los tejidos ante la insulina, que regula la cantidad de glucosa que entra en las células y se utiliza como combustible.

Al cerebro
Receptores de nutrientes
HIGADO
Grelina
Sensores de la distensión
ESTOMAGO
Leptina
Insulina
Tejido adiposo
PANCREAS
Sensores de la distensión
PYY
RBP4
CCK
INTESTINO
Adiponectina
Glucosa

ESTOMAGO VACIO

- La grelina se produce en glándulas del estómago 20 o 30 minutos antes de comer. Se desconoce el desencadenante de su liberación. La grelina puede, no obstante, indicar al cerebro que el estómago se encuentra listo para una comida

LLENO DE COMIDA

- La distensión del estómago y del intestino se transmite al cerebro a través de los nervios espinal y vago
- Los receptores de nutrientes del hígado envían señales neurales que indican que los alimentos ingeridos se están procesando
- Las concentraciones de insulina (segregada por el páncreas) y de glucosa (procedente de la ingesta) en la sangre reflejan el estado alimenticio y la cantidad de energía disponible de forma inmediata
- La colecistoquinina (CCK) y PYY son péptidos que fabrica el intestino y segrega al torrente sanguíneo después de una comida

ENERGIA ALMACENADA

- La leptina se fabrica en el tejido adiposo en cantidades proporcionales a la grasa que éste contiene
- La secreción de la proteína 4 que se une al retinol (RBP4) aumenta con los niveles de grasa; reduce la sensibilidad de otros tejidos a la insulina
- La adiponectina incrementa las respuestas celulares ante la glucosa y la insulina; durante la obesidad, los niveles de esta adipocina disminuyen

JEN CHRISTIANSEN

disminución del gasto energético en ratones criados en los Laboratorios Jackson, en Maine. Dado que un ratón debía heredar el carácter de sus dos progenitores, el síndrome recibió el nombre de ob/ob. Se realizaron cientos de estudios encaminados a explicar la obesidad en esos múridos. Pero fue el grupo de Friedman quien identificó la mutación génica responsable del trastorno. Descubrieron también que ese gen era activo, de manera predominante, en los adipocitos. En los ratones portadores de la mutación ob, daba lugar a una proteína aberrante. Parecía que el síndrome de obesidad estaba provocado por la ausencia de esa sustancia.

Los investigadores bautizaron a la proteína con el nombre de leptina, del griego *leptos* ("delgado"). Demostraron que la restitución del nivel de leptina mediante inyecciones diarias disminuía el peso de los ratones a través de la reducción del apetito y el aumento del gasto energético. Muy pronto, otros siguieron la vía abierta por ese descubrimiento. Hallaron, en personas que sufrían una rara obesidad severa precoz, una mutación similar que provocaba la disfunción del gen de la leptina humana.

La administración de leptina a esos sujetos les ayudó a perder peso, igual que sucedió con los ratones.

Se demostró la existencia de un sistema fisiológico mediante el cual los adipocitos producen una señal hormonal que refleja su nivel o estado de almacenamiento energético —cuanto más triglicérido contiene un adipocito, más leptina genera— y al que el cerebro responde mediante la alteración del apetito y del gasto energético. Cuando desaparece esa señal del estado energético, bien porque la mutación génica impide la fabricación de leptina funcional o bien porque el organismo dispone de escasas reservas de grasa, el cerebro piensa que el organismo sufre inanición y actúa en consecuencia: provoca la sensación de hambre y la conservación de la energía.

El descubrimiento de la leptina abrió las puertas para la investigación de una ruta de señales y respuestas biológicas completamente nueva. Sin ambages, el cerebro constituía una de las dianas principales para la leptina que los adipocitos segregan al torrente sanguíneo. Y se ha comenzado a desentrañar gran parte de los complejos circuitos neurales y tipos celulares a través de los cuales opera la leptina. Como era de esperar, muchos de ellos se encuentran en el hipotálamo.

En una estructura del hipotálamo, el núcleo arcuato, en el interior de la región antes denominada "centro de la saciedad", la leptina afecta, a un mismo tiempo, a dos poblaciones colindantes de neuronas que controlan el apetito de forma opuesta. Un grupo de células neurales produce el péptido alfa-MSH, que reduce el apetito y, por consiguiente, el peso corporal. El otro grupo de neuronas fabrica dos neuropéptidos, NPY y AgRP; ambos estimulan las ganas de comer y promueven la obesidad. Las interacciones entre la leptina y esos dos grupos de células evidencian cierta elegancia.

Las neuronas que producen MSH se conectan con neuronas de otras zonas del hipotálamo que contienen el receptor de la melanocortina 4 (MC4R), una proteína superficial cuya activación reduce el apetito y promueve la pérdida de peso. AgRP, el péptido que provoca las ganas de comer, corresponde a un antagonista de ese receptor, lo que significa que impide la activación del mismo. Así, la leptina activa los receptores de MC4 mediante la estimulación directa (a través de las neuronas que sintetizan MSH) y mediante la inhibición de su antagonista.

Al propio tiempo, la leptina afecta también a la región del cerebro que anteriormente se consideraba un centro del apetito: el hipotálamo lateral. Un grupo de células de esa región produce una pequeña proteína: la hormona concentradora de melanina (MCH). En 1996, nuestro grupo de investigación descubrió que la concentración de ese péptido aumentaba en los ratones ob/ob, lo que sugería que, en condiciones normales, la leptina inhibía la síntesis del péptido.

Demostramos también que un aumento en la concentración de MCH promovía la ingesta de alimento y la obesidad; en ausencia de la capacidad para fabricar MCH, hasta los ratones ob/ob eran menos obesos. Habíamos hallado otro ejemplo de la actividad fisiológica de la leptina, que regulaba los neuropéptidos del hipotálamo, que, a continuación, controlaban el apetito y el balance energético.

Las mismas células y circuitos afectados por la leptina resultan afectados por numerosas sustancias que circulan por la sangre. El hipotálamo y otras áreas del cerebro relacionadas integran toda esa información que proviene de diversas fuentes para generar una imagen en tiempo real del estado energético del organismo y orquestar las respuestas encaminadas a gestionar los recursos energéticos. Para comprender mejor lo que esas señales, leptina incluida, indican al cerebro, se está estudiando también cómo y dónde se originan.

AYUDANTES HAMBRIENTOS

Nuestro "medio" interno podría afectar a la cantidad de comida que se convierte en grasa corporal. Billones de microorganismos benignos medran en el intestino humano, donde facilitan la descomposición de los alimentos; pero la mezcla de especies residentes diverge de un individuo a otro. Un grupo de investigación de la Universidad de Washington en San Luis ha demostrado que, en las personas obesas, predominan las bacterias firmicutes, mientras que en los individuos delgados abundan los bacteroidetes. Además, el grupo de microorganismos "de la gordura" tiene capacidad para extraer más nutrientes (y, por tanto, más calorías) de los alimentos que el grupo de microorganismos "de la delgadez". No se ha demostrado todavía si las diferencias en la microbiota constituyen una causa de la obesidad, una consecuencia o ambas.



***Lactobacillus fermentum*, de la familia de las bacterias firmicutes**

SCIMAT/PHOTO RESEARCHERS

Respuestas viscerales

Una tripa llena constituye una señal sencilla pero segura de que el organismo acaba de captar energía en forma de alimento. La distensión del estómago reduce el apetito. Una manera de comunicar ese estado físico al cerebro es por medio de las fibras nerviosas sensibles a la distensión: envían señales desde el estómago y el intestino hacia los centros de control del apetito. Puede que también las señales neurales que reflejan el estado de procesamiento energético del hígado se transmitan al cerebro por medio del nervio vago.

También se cree que la insulina opera directamente sobre las neuronas del hipotálamo para suprimir el apetito. Se sabe que otras hormonas producidas en el intestino y liberadas al torrente sanguíneo después de las comidas llegan al cerebro y producen el mismo efecto. Entre ellas destaca la colecistoquinina, que provoca saciedad a corto plazo; pero indica sólo la terminación de cada comida. El péptido PYY, liberado por el intestino delgado, hace lo mismo. Hasta ahora se ha identificado sólo un péptido orexigénico (estimulador del apetito) producido por el aparato digestivo: la grelina, que se produce y libera en el estómago antes de las comidas; quizá sea la señal que anuncia una comida.

En las personas obesas, la emisión disfuncional de esas señales a corto plazo (que indican que se acaban de ingerir alimentos o que se

está a punto de hacerlo) podría distorsionar los mecanismos cerebrales de regulación energética. Por ejemplo, una pérdida de peso de sólo 4,5 kilos puede hacer que aumente la producción de grelina, lo que provoca una mayor sensación de hambre.

A largo plazo, también las señales que emite la propia grasa corporal podrían contribuir a una gestión incorrecta de los recursos energéticos. Durante muchos años, se vio el tejido adiposo básicamente —o exclusivamente— como una zona pasiva limitada al almacenamiento y liberación de energía en forma de ácidos grasos. Con el descubrimiento de la leptina, ese órgano ha pasado a considerarse una glándula endocrina cuya actividad provoca efectos muy diversos sobre la salud.

La leptina es todavía la única hormona procedente de la grasa cuya intervención directa sobre la regulación de los depósitos de grasa ha quedado demostrada. Sin embargo, se está investigando otro grupo de hormonas: las adipocinas. La adiponectina corresponde a una molécula producida y secretada exclusivamente por los adipocitos; suele circular por el torrente sanguíneo a concentraciones elevadas. Por razones que se desconocen, en los individuos obesos el nivel de adiponectina es inferior al normal; los ratones de experimentación que carecen de adiponectina son extremadamente pesados, pero los mecanismos que subyacen a este efecto constituyen otro misterio.

Algunas investigaciones sugieren que, en determinadas circunstancias, la adiponectina podría ejercer un efecto directo sobre la estimulación del apetito en el cerebro. Aunque se trata de observaciones provisionales, nos indican la posibilidad de que la adiponectina, también, constituya una señal directa procedente de los adipocitos que revela al cerebro la necesidad de obtener energía. De ese modo contrarrestaría la función anorexigénica (inductora de saciedad) de la leptina.

Origen de la obesidad

Queda mucho por descubrir acerca de los circuitos que regulan el uso y almacenamiento de la energía en el organismo. Falta también ahondar sobre el modo en que sus alteraciones podrían ayudar a perpetuar una obesidad ya existente o a que un individuo esté predispuesto a convertirse en obeso. El descubrimiento de la leptina en los ratones llevó a la identificación de unas pocas personas cuya obesidad se debía a un defecto genético. Esas obesidades "monogénicas", bastante raras, portan mucha luz. Han permitido identificar algunos pacientes con obesidad grave atribuible a mutaciones en los genes de la leptina, del receptor de la leptina o de POMC (un precursor del péptido MSH, que se sintetiza en el hipotálamo y que inhibe el apetito).

También revisten interés las mutaciones que provocan la disfunción de los receptores de MC4, dianas contra las que actúa MSH: dan cuenta de entre el 3 y el 5 por ciento de los casos de obesidad grave. En la mayoría de los afectados, se altera sólo una de las dos copias del gen, lo que les deja con el 50 por ciento de la función normal del receptor de MC4.

Sin embargo, la mayoría de las personas obesas no presentan mutaciones génicas conocidas que expliquen su trastorno. Además, su nivel de leptina es mayor que el de los individuos delgados, lo que parece contradictorio si se supone que la leptina es anorexigénica. De hecho, ese descubrimiento condujo a la idea de que la mayoría de los pacientes obesos podrían presentar resistencia a la leptina. (La resistencia a la leptina se produce cuando algún componente del sistema de regulación energética ignora la señal de la leptina de que existen abundantes reservas de grasa.) Coherente con esa tesis resulta el hecho de que los intentos por administrar leptina con fines terapéuticos hayan desencadenado respuestas pobres y desalentadoras en los pacientes obesos carentes de mutaciones génicas asociadas a la leptina.

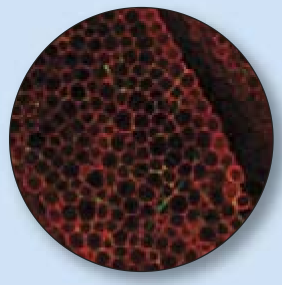
Descubrir las bases moleculares de la resistencia a la leptina constituye, por tanto, uno de los principales objetivos de los investigadores. Se conocen dos proteínas con una fuerte implicación en ese trastorno; operan sobre el cerebro y, posiblemente, los tejidos periféricos. Una de ellas es SOCS3: se produce en las neuronas del hipotálamo que en condiciones normales responden a la leptina; bloquea la capacidad de la leptina para enviar señales a esas células. La otra, PTP1B, anula la señalización de la leptina en el interior de las células. En experimentos realizados con ratones, la reducción del nivel de SOCS3 o PTP1B en todos los tejidos, o sólo en las neuronas, hace que los ratones muestren mayor sensibilidad a la leptina y mayor resistencia a la obesidad.

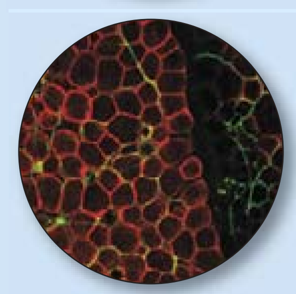
Se desconoce qué función desempeñan esas proteínas en la resistencia humana a la leptina. No obstante, las observaciones realizadas sugieren que quizá modulen las señales de la leptina de modo que las células no se sientan abrumadas ante ella. En individuos obesos, un nivel crónicamente elevado de leptina podría provocar una síntesis desmesurada de tales proteínas para proteger a las células, iniciando un ciclo de resistencia creciente a las señales de la leptina. Mecanismos fisiológicos de retroinhibición que ayudarían a perpetuar y empeorar la obesidad.

Las variaciones en los genes implicados en las rutas de regulación de la grasa quizá desem-

¿CELULAS QUE SE AUTORREGULAN?

En la obesidad, los adipocitos sobrecargados excretan más leptina, una señal de "reservas energéticas llenas" a la que el cerebro responde con la supresión de la sensación de apetito. Pero, ¿lanzan también los adipocitos señales de "necesitamos más energía" cuando se les está acabando? Una investigación reciente indica que otra hormona fabricada por los adipocitos, la adiponectina, podría desempeñar esa función. Takashi Kadowaki y sus colaboradores, de la Universidad de Tokio, demostraron que, en ratones, el ayuno aumenta el nivel de adiponectina en el líquido espinal; además, la presencia de la hormona en el sistema nervioso central desencadena en el cerebro la liberación de NPY, péptido estimulador del apetito. Si se confirma que la adiponectina constituye una señal de inanición, a la que el cerebro responde mediante el incremento de la ingesta de alimentos, se convertiría en la segunda molécula sintetizada por los adipocitos que se descubre que interviene directamente en la regulación de los depósitos de grasa.





ADIPOCITOS en ratones delgados (*arriba*) y obesos (*abajo*).

HYUEK JONG LEE Y STEVE SHOELSON

La función de la grasa en la enfermedad

Se ha establecido una clara relación entre obesidad y diabetes, hipertensión, trastornos cardiovasculares y cáncer. Pero todavía quedan por desvelar muchos aspectos de la relación entre la grasa y la enfermedad. La definición médica más frecuente de la obesidad se basa en los efectos adversos para la salud que acarrea a partir de cierto peso. El índice de masa corporal (IMC) se calcula dividiendo el peso de una persona en kilogramos entre el cuadrado de su altura expresada en metros. Dado que se observa una mortalidad mayor cuando el IMC es superior a 30, esta cifra se ha convertido en el umbral aceptado para la obesidad. Cuando el IMC se halla entre 25 y 30, se habla de sobrepeso, lo que refleja cierta conexión con efectos adversos contra la salud.

Sin embargo, esas relaciones epidemiológicas entre el IMC y la enfermedad divergen de una subpoblación a otra. Además, no existe una cifra precisa que permita a los médicos determinar qué cantidad de grasa corporal provocará una enfermedad en un paciente determinado. Algunas personas experimentan problemas de salud con un IMC de 25, mientras que otras permanecen sanas con un IMC superior a 30.

Tampoco parece que todos los tipos de grasa provoquen los mismos efectos. El tejido adiposo se acumula por debajo de la piel en la mayor parte de las regiones del cuerpo, así como en el interior y alrededor de los órganos internos, sobre todo en el abdomen. Numerosos estudios sugieren que la diabetes y las enfermedades cardiovasculares guardan una relación estrecha con esa grasa intraabdominal o visceral. En algunos casos es poco probable que un exceso de grasa en caderas y muslos (el que produce la proverbial "forma de pera") provoque esas enfermedades, si no hay también un exceso de grasa abdominal. Por el contrario, el exceso de grasa abdominal (el que corresponde a la "forma de manzana") está relacionado con la diabetes y con otros trastornos metabólicos, incluso en ausencia de un exceso de grasa en la parte inferior del cuerpo.

No se sabe de qué modo influye en los efectos sobre la salud el punto donde se acumule la grasa. Según unos autores, la grasa abdominal está bien ubicada para liberar ácidos grasos, y quizás otras sustancias y señales, en la vena porta que irriga directamente al hígado, lo que repercutiría en el funcionamiento de este órgano fundamental. Según otros, los depósitos de grasa en distintas zonas del organismo generan cantidades variables de ciertas señales químicas; los volúmenes superiores que proceden de la grasa visceral pueden dar cuenta de sus efectos más dañinos para la salud.

También algunas señales generadas por el tejido adiposo están involucradas en los problemas de salud relacionados con la obesidad. Así, el tejido adiposo produce desencadenantes de la inflamación que contribuirían al riesgo de contraer cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y otros trastornos inmunitarios. Por el contrario, la hormona adiponectina provoca efectos deseables en varios tejidos para mejorar el metabolismo celular de la glucosa y los lípidos. Sin embargo, puesto que durante la obesidad disminuye el nivel sérico de adiponectina, la pérdida de sus efectos beneficiosos se relaciona con el desarrollo de resistencia a la insulina (lo que contribuye a la diabetes) y enfermedades cardiovasculares.

A la proteína 4 de unión al retinol (RBP4, de "retinol-binding protein 4"), una adipocina que los adipocitos fabrican en mayor cantidad durante la obesidad, se le atribuye una función más directa en la resistencia a la insulina. La investigación sobre animales revela que RBP4 determina que las células hepáticas y de otro tipo se tornen menos sensibles a la insulina. Un informe reciente ha confirmado que la grasa visceral genera mayor cantidad de RBP4 que el tejido adiposo subcutáneo del resto del organismo.

Tal y como ilustran los ejemplos anteriores, gran parte de las moléculas y mecanismos que se están investigando por su participación en la regulación de la energía del organismo también intervienen en otros procesos vitales. Los avances en el estudio de la obesidad arrojarán luz sobre las enfermedades relacionadas con la obesidad y contribuirán al desarrollo de nuevos tratamientos.



LAS MANZANAS SON MALAS PARA LA SALUD, si el término designa la forma del cuerpo. El exceso de grasa abdominal indica un exceso de grasa dentro y alrededor de los órganos internos, una situación estrechamente relacionada con trastornos metabólicos y cardiovasculares. Por el contrario, es menos probable que la grasa acumulada en caderas y muslos, que origina la forma de "pera", provoque enfermedades.

DIGITAL VISION/GETTY IMAGES (*izquierda*); STOCKBYTE/GETTY IMAGES (*derecha*)

peñen una función similar a la hora de desequilibrar el sistema. De hecho, pensamos que las variaciones en esos genes, que influyen en el peso corporal mediante mecanismos todavía por averiguar, causan parte de la tendencia a la obesidad. Está por ver si esos genes "del peso" son muchos, pocos, dominantes o de efectos limitados.

A medida que el uso de potentes técnicas para escudriñar el genoma humano en grandes poblaciones se va generalizando, se acelerará el descubrimiento de nuevas rutas reguladoras del peso y aumentará la comprensión de los mecanismos ya conocidos. De momento, sin embargo, la prevalencia de la obesidad y sus complicaciones siguen en aumento, lo que evidencia el fracaso de las terapias actuales.

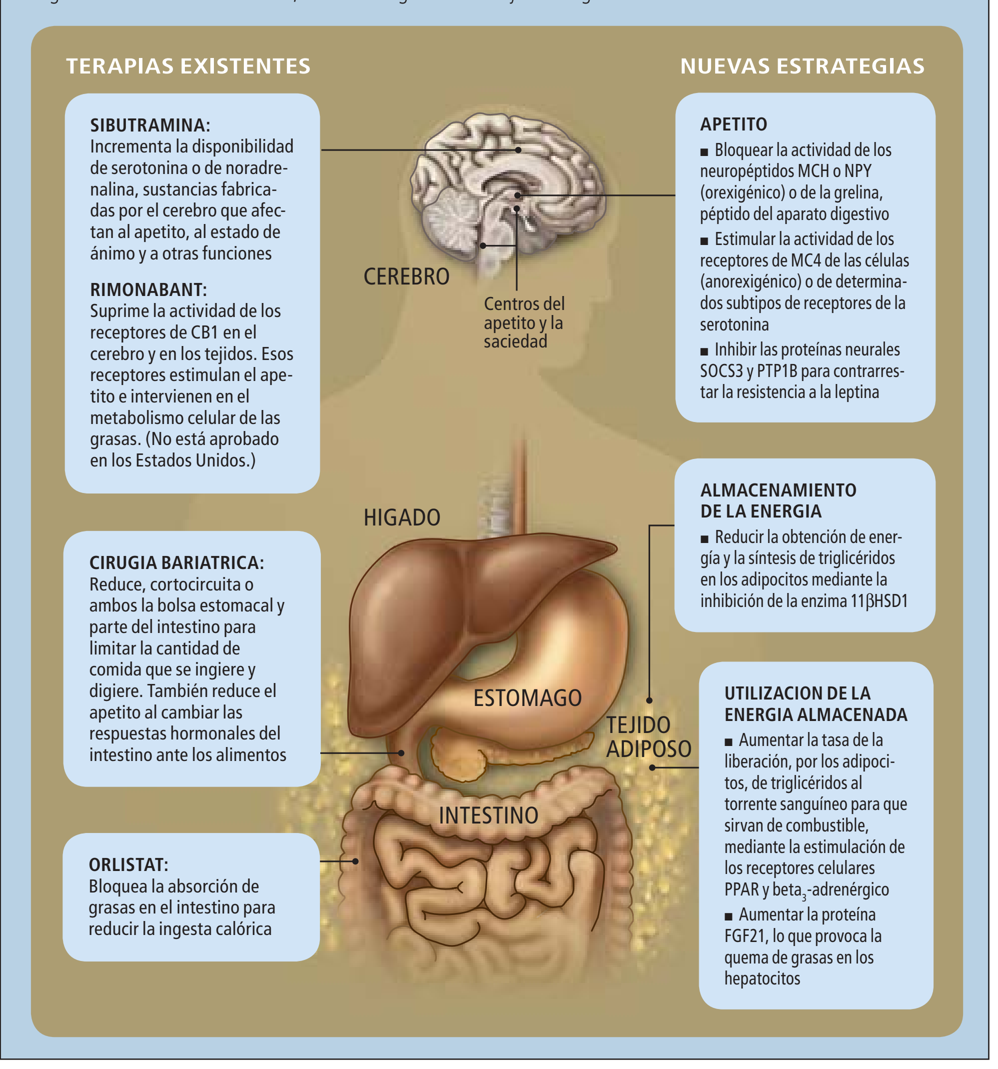
Tratamientos contra la obesidad

Reducir la ingesta de alimentos, cambiar la composición de la dieta y aumentar el ejercicio físico. Esos sencillos consejos resultan siempre apropiados para las personas obesas. Por sí mismos, los cambios de hábitos pueden ayudar a que una persona reduzca hasta en un 10 por ciento su masa corporal, aunque mantener esa pérdida de peso no siempre resulta tan fácil.

La cirugía bariátrica se practica en cientos de miles de pacientes cada año. En general, esas operaciones o bien rodean parte del estómago con un anillo para reducir su tamaño o bien remodelan el aparato digestivo para reducir la bolsa estomacal y realizar una derivación ("bypass") que cortocircuite parte del intestino. Ambos procedimientos registran mayor

SUPERAR LA OBESIDAD

A medida que se van aclarando los mecanismos que dan lugar a la obesidad, se desentrañan los motivos por los que perder grasa corporal y mantener el peso únicamente mediante cambios en el comportamiento suele resultar difícil. Las terapias existentes son de eficacia limitada. El desarrollo de fármacos que ofrezcan seguridad a largo plazo no es tarea fácil, porque los sistemas que regulan la energía están entrelazados con otros procesos vitales en el cuerpo y en el cerebro, lo que aumenta el riesgo de sufrir efectos secundarios graves. Los enfoques terapéuticos que se están desarrollando se centran en las moléculas y mecanismos que controlan cuánta energía obtiene el organismo en forma de alimento, cuánta energía almacena y cuánta gasta.



JEN CHRISTIANSEN

número de aciertos que cualquier tratamiento farmacológico a la hora de provocar y mantener la pérdida de peso.

La investigación reciente sugiere también que la derivación gástrica puede provocar, al menos en parte, una reducción del apetito, ya que altera la concentración de hormonas producidas por el aparato digestivo (como la grelina y PYY). Quizá los medicamentos que consigan ese efecto anorexigénico reemplacen algún día las medidas quirúrgicas.

Cualquier nuevo fármaco para combatir la obesidad deberá cumplir con unos estándares elevados de seguridad, tolerancia y eficacia. Dado que las rutas que regulan el almacenamiento de energía son tan importantes para otros procesos del organismo y cerebrales, el desarrollo de farmacoterapias que cumplan con todos esos requisitos constituye todo un reto. Otras experiencias anteriores desafortunadas con fármacos que mostraban eficacia —aunque terminaron por resultar adictivos o inseguros— podrían animar a las agencias reguladoras a redoblar sus exigencias.

Además de tratar la obesidad mediante la reducción de la grasa corporal, un fármaco deberá atenuar las complicaciones asociadas a la obesidad como la diabetes y la hipertensión o, al menos, evitar que empeoren. Cualquier terapia deberá ser también segura durante su

Los autores

Jeffrey S. Flier y **Eleftheria Maratos-Flier** lideran cada uno un laboratorio dentro de la división de endocrinología, diabetes y metabolismo del Hospital Beth Israel Deaconess de Boston. Docentes de la facultad de medicina de Harvard, centran su investigación en la fisiología de la obesidad y la diabetes. Han descubierto componentes clave de los sistemas que regulan el balance energético del organismo. Flier se ocupa de las funciones de la leptina y la insulina; Maratos-Flier ha caracterizado las funciones de la hormona concentradora de melanina.

uso continuado, pues la interrupción del tratamiento permitiría, probablemente, que el peso volviera a su valor anterior. Existe un elevado riesgo de que los fármacos contra la obesidad se utilicen de forma incorrecta por personas que traten de alcanzar un peso corporal inadecuadamente bajo por razones que no son de tipo médico.

En fecha reciente, un nuevo medicamento que se ha comercializado en Europa durante algún tiempo, el rimonabant, no consiguió la aprobación de la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos (FDA) de EE.UU. ¿La razón? Se temía que provocara un aumento en la incidencia de la depresión y la ansiedad. El fármaco opera mediante el bloqueo de la activación de CB1, un receptor de la superficie celular que se encuentra en el cerebro y en los tejidos periféricos. Ese receptor interviene en los efectos orexigénicos de la marihuana, así como en las acciones que llevan a cabo moléculas lipídicas sintetizadas en varios tejidos. No se ve clara la compaginación de seguridad y eficacia en la administración de ese tipo de compuestos durante un período largo de tiempo.

De momento sólo se ha aprobado, en Estados Unidos, la prescripción de dos fármacos para el tratamiento a largo plazo de la obesidad. La sibutramina, disponible desde 1997, prolonga la exposición de las neuronas del cerebro a los neurotransmisores noradrenalina y serotonina; ello provoca una reducción del apetito y una modesta pérdida de peso. El uso de ese medicamento está limitado porque, durante la terapia, tienden a aumentar la presión sanguínea y el pulso. El orlistat, disponible desde 1999 (ahora se puede comprar sin receta bajo el nombre comercial de "alli", de "aliado"), reduce la ingesta calórica total de un individuo actuando sobre el intestino para limitar la absorción de grasas; produce efectos modestos sobre el peso y sobre las complicaciones de la obesidad.

Se están siguiendo otras estrategias para el desarrollo de fármacos contra la obesidad, a partir de las numerosas rutas que regulan el apetito y el peso descubiertas en los últimos años. Las posibles terapias incluyen inhibidores de las moléculas orexigénicas MCH, NPY y grelina, supresores del apetito que remedan a PYY y activadores de los subtipos de receptores para la melanocortina 4 y la serotonina. Cualquiera de las opciones anteriores estaría orientada hacia la disminución de la ingesta energética, igual que los medicamentos ya existentes. Pero como el organismo tiende a compensar la pérdida de grasa entrando en el estado de "conservación de energía", también harían falta fármacos complementarios que avivasen el consumo energético.

Varios grupos de investigación están buscando formas de incrementar la velocidad con que los adipocitos liberan la energía reservada o de impedir su almacenamiento. Una estrategia se centra en la estimulación de un tipo de receptores de la superficie celular (los receptores $beta_3$-adrenérgicos y receptores nucleares PPAR) que desencadenan la liberación por parte del tejido de la proteína desacoplante 1. Esa señal de "hace falta energía", escuchada por determinados adipocitos, incrementa la velocidad con la que éstos liberan triglicéridos al torrente sanguíneo. Sin embargo, el método puede funcionar sólo en un determinado tipo de tejido adiposo, el tejido adiposo pardo, que abunda en roedores y en los humanos recién nacidos, pero no en los adultos.

Otro enfoque prometedor implica la inhibición de actividades enzimáticas que promueven el almacenamiento de grasas. Por botón de muestra, la enzima 11 beta HSD-1 (11βHSD1) provoca que la forma latente del esteroide cortisol se convierta en una forma activa en el interior de los adipocitos y hepatocitos. A continuación, el cortisol localmente activo insta a esas células a fabricar más triglicéridos.

En nuestro laboratorio, hemos demostrado que los ratones de experimentación que producen un exceso de 11βHSD1 en sus adipocitos generan también un exceso de corticosterona (la variante del cortisol en ratones) en esas células y desarrollan obesidad abdominal. Y desarrollan diabetes, hipertensión y elevados niveles de triglicéridos en sangre, un conjunto de síntomas que nos recuerda a una enfermedad humana: el síndrome metabólico.

Aunque los estudios en humanos obesos no han permitido establecer la existencia de una asociación inequívoca entre la actividad de 11βHSD1 y el exceso de grasa almacenada, contamos ya con inhibidores de la enzima; se están desarrollando para su utilización en el tratamiento del síndrome metabólico. Podrían resultar útiles, además, en el tratamiento contra la obesidad.

Numerosos expertos opinan que en una terapia farmacológica contra la obesidad deberían entrar múltiples medicamentos que actúen a través de rutas independientes, mezclados según paciente, a la manera en que se administra ahora el tratamiento de la hipertensión y de la diabetes. Por supuesto, lo mismo que en el caso de otras enfermedades comunes como la hipertensión, sería preferible tratar a las personas sólo mediante cambios en la dieta y en el estilo de vida. Pero si esa estrategia falla y surgen complicaciones patológicas, la farmacoterapia será tan apropiada para la obesidad como para cualquier otra enfermedad.

Bibliografía complementaria

An Atlas of Obesity and Weight Control. George A. Bray. Informa Healthcare, 2004.

Expanding the Scales: The Multiple Roles of MCH in Regulating Energy Balance and other Biological Functions. Pavlos Pissios y col. en *Endocrine Reviews*, vol. 27, n.º 6, págs. 606-620.

The Adipocyte as an Active Participant in Energy Balance and Metabolism. Michael K. Badman y Jeffrey S. Flier en *Gastroenterology*, vol. 132, n.º 6, págs. 2103-2115; mayo de 2007.

The Two Faces of Fat. Kendall Powell en *Nature*, vol. 447, págs. 525-527; 31 de mayo, 2007.

Los hongos y su medio

Ignacio Santa Regina Rodríguez

Desde siempre, los humanos se han sentido fascinados por los hongos y su forma de vida, singular y misteriosa. Antaño se creía que los hongos eran como los corales, un amasijo de cáscaras de diminutos animalillos que se reproducían por medio de huevos (las esporas). Hoy sabemos que los hongos constituyen un grupo de organismos, muy numeroso y carente de clorofila. Tal privación les incapacita para fabricar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas.

Los hongos deben, pues, nutrirse de otros seres vivos. Son heterótrofos. Los hay saprófitos, que se alimentan de materia orgánica en descomposición; por ejemplo, *Ceraceomyces serpens*. Otros parasitan vegetales vivos, tal la especie *Phragmidium violaceum*. Hongos simbióticos, citemos a *Cladonia floerkeana*, son los que establecen con otro organismo una asociación mutuamente beneficiosa.

Los hongos suelen corresponder a seres unicelulares. Constan de núcleo, nucleolo, ribosomas, mitocondrias, retículo endoplasmático, membrana y pared celulares, amén de reservas de glucógeno. La membrana celular está compuesta por celulosa, quitina o ambas. El carácter heterótrofo los separa de los vegetales; la reproducción por esporas, de los animales.



1. *Cladonia floerkeana*. Los talos ramificados de este ascomiceto liquenizado están rematados por unos ascos rojos (esporangios) que contienen las esporas.

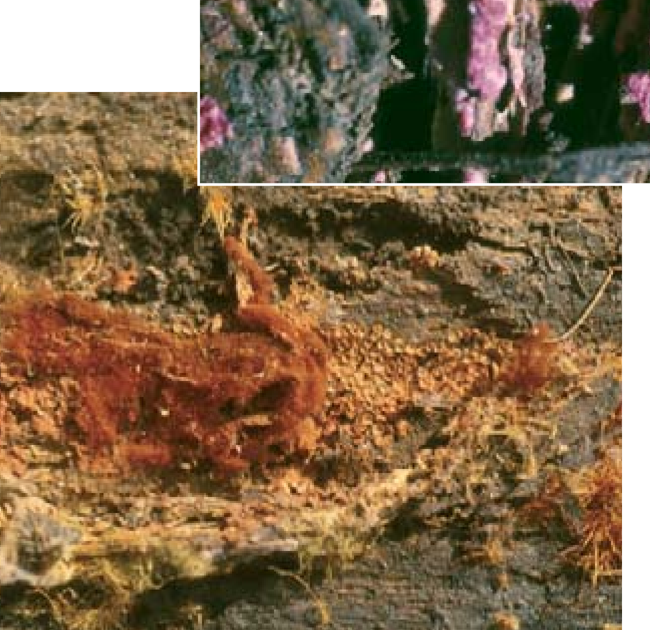
IGNACIO SANTA REGINA RODRIGUEZ



2. *Phragmidium violaceum* sobre hojas de zarzamora (*Rubus ulmifolius*). Esta roya presenta una fuerte agresividad y una elevada especificidad.

3. *Arcyria incarnata* sobre madera en descomposición. Mixomicete con esporangios gregarios que forman grupos apretados, unidos en la base por un hipotalo membranáceo.

4. *Ceraceomyces serpens* presenta un himenóforo meruloide con aspecto de pliegues cerebriformes.



5. *Phanerochaete sanguínea* porta un himenóforo liso.

IGNACIO SANTA REGINA RODRIGUEZ. FOTCIENCIA05/ICMAB-CSIC (*Arcyria incarnata*)

EL CEREBRO Y LA COMIDA

La técnica de formación de imágenes cerebrales revela que la adicción alimentaria comparte su origen con el de la drogadicción

Kristin Leutwyler Ozelli

Cada vez hay más indicios de que unos mismos circuitos cerebrales intervienen en la alimentación compulsiva y en el consumo de drogas. Se abre así una nueva perspectiva para el conocimiento y el tratamiento de la obesidad. En esta entrevista, Nora D. Volkow, directora del Instituto Nacional de Drogodependencia (NIDA) de Estados Unidos y pionera del estudio de los mecanismos de la adicción, explica estos recientes descubrimientos.

CONCEPTOS BASICOS

- Tanto la comida como las drogas disparan los circuitos cerebrales implicados en la recompensa y el placer. Crean respuestas condicionadas que vuelven a suscitarse con la presencia de comida o drogas e incluso al volver al lugar donde se consumen esas sustancias.
- Estas respuestas existen en el nivel neurofisiológico más fundamental. Las personas obesas o los drogodependientes quizás intenten compensar una respuesta anormal a la dopamina, el neurotransmisor que induce a buscar gratificaciones. Esta anomalía puede inducirles a un consumo compulsivo de drogas o comida.
- Es necesaria una estrategia múltiple para tratar la adicción: los fármacos, la biorretroalimentación y la terapia de grupo tienen un papel que desempeñar.

¿Qué circuitos cerebrales comunes se activan con la comida y con las drogas?

La comida y las drogas activan en el cerebro, en líneas generales, los circuitos que la evolución ha construido para que gratifiquen comportamientos sin los cuales no sobreviviríamos. Si nos atrae la comida, es porque gratifica y da placer. Cuando experimentamos placer, el cerebro aprende a asociar esta sensación a las circunstancias que la anticipan. Ese recuerdo se refuerza a medida que se consolida el ciclo de anticipar, buscar y obtener placer. A este proceso se le llama condicionamiento.

Las drogas son especialmente eficaces como estímulos condicionantes por sus propiedades químicas. Los refuerzos naturales —la comida o el sexo— tardan más en activar la vía de la gratificación. Sin embargo, el condicionamiento liga un recuerdo no sólo a un estímulo, sino también al entorno en que se produjo y a otras incitaciones. Eso es precisamente lo que la naturaleza pretendía: si sólo el estímulo en cuestión desencadenara la acción necesaria para lograr una experiencia placentera, la respuesta condicionada sería estéril. Una vez se crea un recuerdo condicionado, funciona como en los perros de Pavlov; la respuesta se convierte en reflejo. Tras la necesidad de consumir drogas y de comer compulsivamente subyace una respuesta condicionada.

Por esa razón, los alimentos con alto contenido calórico —en concreto, con muchas grasas o azúcares— son más proclives a provocar la necesidad de comer compulsivamente. Cuando éramos cazadores, no siempre conseguíamos la comida que buscábamos; por tanto, los alimentos con alto contenido calórico, los que concentran mucha energía, favorecían la supervivencia. En aquellas circunstancias, nos convenía consumir tantos alimentos de ese tipo cuantos pudiéramos encontrar. De ahí que sean refuerzos muy potentes. Pero hoy, cuando abrimos la nevera, tenemos un cien por ciento de posibilidades de encontrar comida. Nuestros genes han cambiado poco, pero ahora nos rodean alimentos con alto contenido en grasas y azúcares, lo que lleva al aumento de la obesidad.

¿Qué ocurre en el cerebro cuando sentimos ansias?

Si Pavlov hubiera podido mirar en el cerebro de sus perros, probablemente habría visto que les subía la concentración de dopamina con el repiqueteo de la campana que les había asociado con la recompensa cárnica. La dopamina nos dice qué es importante: fragmentos inesperados de nueva información a los que tenemos que prestar atención si queremos sobrevivir, que nos ponen sobre aviso de situaciones que afectan al sexo, la alimentación y el placer, suponen un peligro o causan dolor. Hemos comprobado que, cuando a las personas se les muestran alimentos a los que han estado condicionadas, se produce un incremento de dopamina en el cuerpo estriado, un área cerebral relacionada con la gratificación y la motivación de la conducta.

Este incremento de dopamina se produce con sólo oler y mirar el alimento, porque a los participantes se les advierte de que no podrán comerlo. Se trata de la misma respuesta neuroquímica que tiene lugar cuando los adictos ven algo que guarda relación con la droga que consumen o un vídeo en el que otros la consumen. Cuando se libera dopamina en el cuerpo estriado se recibe un mensaje: hay que ponerse en marcha para conseguir cierta

meta. Es un poderoso motivador. Superar tales impulsos con la exclusiva fuerza de voluntad resulta muy duro.

Por lo general, en el cuerpo estriado de drogodependientes y obesos hay también un número de receptores de dopamina D2 menor que en sujetos sin adicción ni obesidad, respectivamente. Quizás estos descubrimientos revelen que el cerebro busca compensar los incrementos repetidos de dopamina debidos al estímulo constante de drogas o comida. Otra posibilidad es que estos individuos tengan por naturaleza y desde un principio menos receptores, por lo que correrían un mayor riesgo de sufrir algún tipo de adicción. Descubrimos una correlación negativa entre las reservas de receptores D2 en individuos obesos y su índice de masa corporal; en otras palabras: cuanto más obesa es una persona, menos receptores tiene.

¿Hay quienes presentan mayor riesgo de adicción a las drogas o a la comida?

Sabemos, por estudios realizados con gemelos, que aproximadamente el 50 por ciento del riesgo de sufrir drogodependencia u obesidad es hereditario. Pero los genes implicados influyen de múltiples maneras: desde diferencias en la capacidad de metabolizar ciertas drogas o alimentos, de un individuo a otro, hasta diferencias en la probabilidad de incurrir en comportamientos de riesgo o exploratorios, por no hablar de peligros específicos (la sensibilidad subyacente del sistema de recompensa).

El exceso de sensibilidad a la gratificación con comida puede poner a algunos en peligro de comer compulsivamente. Un estudio mostró un aumento en la actividad cerebral de ciertos obesos en respuesta a las sensaciones de boca, labio y lengua. Hay personas sin tanta capacidad para registrar o responder a las señales internas de saciedad, por lo que serán más vulnerables a las ansias provocadas por las incitaciones alimentarias de su entorno.

¿El solapamiento entre la drogodependencia y la obesidad señala nuevos enfoques para el tratamiento?

Todavía hay intervenciones farmacológicas por explorar, como los medicamentos que incrementan en el cerebro la respuesta a la dopamina. Marca una línea de investigación fascinante la reciente síntesis y ensayo preliminar de un fármaco de administración oral que bloquea la orexina, un péptido que refuerza el "viaje" asociado a la ingesta de alcohol y del que se cree que regula la alimentación. Este fármaco podría ser de la mayor utilidad para el tratamiento del consumo anómalo de comida y de drogas. La obesidad y la drogadicción, debido al estigma social que las acompaña, también pueden derivar en una profunda sensación de aislamiento, con el consiguiente estrés; ahí, la terapia de grupo ayuda.

Otra apasionante área es la utilización de imágenes de resonancia magnética funcional en tiempo real para enseñar a las personas a ejercitar partes concretas de su cerebro, como si fueran músculos. Con este método, Sean Mackey, de la Universidad de Stanford, Christopher deCharms, de Omneuron (en Menlo Park, California) y sus colaboradores han adiestrado a sujetos sanos y a sujetos que padecen dolores crónicos para que controlen su actividad cerebral y modulen de ese modo la experiencia del dolor. Estamos investigando el uso de este tipo de técnicas para adiestrar en el control de la ínsula, una región del cerebro implicada en el ansia de comida y drogas. Los fumadores que tienen lesionada la ínsula por un derrame cerebral parecen perder el deseo de fumar.

Otro obstáculo con que tropieza la curación de la necesidad compulsiva de comer es el hecho obvio de que hay que comer para vivir; en cambio, el adicto a una sustancia ilegal está en cierta forma protegido porque la droga no se halla siempre a su disposición. Una de las intervenciones terapéuticas con drogodependientes consiste en enseñarles a evitar los lugares asociados con su hábito. Pero, ¿cómo hacer lo mismo con la comida? Es imposible. Y las personas interesadas sufren. Está demostrado que, si a las ratas se les proporcionan dietas con alto contenido en azúcares y después se les administra un antagonista de los opiáceos, la naloxona, se les provoca un síndrome de abstinencia similar al de animales a los que se les administra naloxona tras repetidas inyecciones de morfina. Un resultado que nos revela que, en las ratas, las dietas ricas en azúcar generan una dependencia física. Si en los humanos ocurriera un proceso similar, quienes se ponen a dieta podrían contar con intervenciones encaminadas a mitigar los síntomas de la abstinencia.

Kristin Leutwyler Ozelli

La entrevistada

Nora Volkow es directora del Instituto Nacional de Drogodependencia de Estados Unidos. Antes de su nombramiento en 2003, ocupó distintos puestos en el Laboratorio Nacional de Brookhaven y fue profesora de psiquiatría y vicedecana de la facultad de medicina de la Universidad de Stony Brook. Introdujo las técnicas de imagen en la investigación sobre los cambios neuroquímicos asociados con la adicción.



NIDA

OBESIDAD MUNDIAL

En los países en vías de desarrollo hay ya más personas con sobrepeso que hambrientas. ¿Cómo podrían combatir la obesidad los países más pobres?

Barry M. Popkin

CONCEPTOS BASICOS

- Con la globalización han llegado al Tercer Mundo los nocivos hábitos de nutrición occidentales. En los últimos veinte años, los necesitados de aquellos países han consumido muchas más bebidas azucaradas, aceites vegetales y alimentos de origen animal (carnes de reses, aves, huevos y productos lácteos).
- En todo el mundo en vías de desarrollo se tiende a adoptar las formas de vida occidentales, que contribuyen a la obesidad.
- Ningún país, en los tiempos modernos, ha logrado reducir el número de personas con sobrepeso, pero los gobiernos y los programas de ayuda están considerando diversas maneras de intervenir en ese sentido.

En el curso de los veinte años postreros, hemos asistido a una espectacular transición que ha cambiado la dieta y la salud de cientos de millones de habitantes del Tercer Mundo. En la mayoría de las naciones subdesarrolladas, la obesidad representa una amenaza sanitaria aún más grave que el hambre. En México, Egipto y Sudáfrica, por ejemplo, más de la mitad de la población adulta presenta sobrepeso (esto es, un índice de masa corporal, IMC, igual o mayor de 25) u obesidad (IMC superior a 30). Al menos uno de cada cuatro adultos pesa en exceso en casi toda Iberoamérica y gran parte del Oriente Medio y Africa del Norte. Ciertamente la desnutrición y las hambrunas continúan castigando el Africa subsahariana y el sur de Asia, pero aun así hay países de suma pobreza, como Nigeria y Uganda, que sufren el problema de la obesidad.

En todo el mundo hay más de 1300 millones de personas con demasiado peso, mientras que unos 800 millones no llegan al nivel normal; la diferencia entre ambos números crece con rapidez.

Los índices de obesidad en numerosos países en vías de desarrollo compiten ya con los de EE.UU. y otras naciones de alto nivel de renta. Y por si fuera poco, en menos de una generación se ha pasado del déficit al superávit en nutrición. Cuando vuelvo a pueblos que hace 15 años visitara en India, China, México y Filipinas, noto grandes cambios: los niños toman refrescos y ven la televisión, los adultos van ya en ciclomotor y compran la comida en supermercados. Además de adoptar costumbres más sedentarias, la gente de estos países consume más edulcorantes calóricos, aceites vegetales y alimentos de origen animal (carnes de res, aves, pescados, huevos y productos lácteos). La combinación de los nuevos hábitos de vida y de alimentación ha abierto el paso a una auténtica catástrofe sanitaria: la obesidad conduce a un estallido de diabetes, cardiopatías y otras enfermedades.

Para combatir esta amenaza, hay que examinar el trasfondo de las fuertes corrientes sociales, económicas y técnicas que están transformando el Tercer Mundo. Quedará entonces de manifiesto que muchos gobiernos e indus-

AARON GOODMAN



trias favorecen el incremento de la obesidad al inundar los países en vías de desarrollo con carnes, aceites y edulcorantes calóricos baratos, mientras que no hacen nada por promover el consumo de frutas y verduras. Fortalecer las subvenciones agrícolas y regular la publicidad de alimentos podría mitigar los perjuicios. Pero habrá que buscar nuevas estrategias, compromisos de financiación a largo plazo y aportar una considerable dosis de voluntad política.

Un problema de los pobres

Tal vez sea México el ejemplo más impresionante de nación en vías de desarrollo que padece una epidemia de obesidad. En 1989, menos del 10 por ciento de sus habitantes presentaban sobrepeso. De hecho, nadie hablaba de obesidad en todo el país; preocupaban la pobreza y el hambre. En 2006, sin embargo, los nuevos análisis revelaron que el 71 por ciento de las mujeres y el 66 por ciento de los hombres mexicanos sufrían de sobrepeso u obesidad: valores aproximados a los de EE.UU. Y ya se dejan notar los efectos en la salud. Hace 15 años la diabetes en México prácticamente no existía, pero hoy casi la séptima parte de sus ciudadanos padecen de diabetes de tipo 2 (iniciada en la edad adulta), y la enfermedad se extiende con rapidez.

¿Cómo pudo producirse un cambio tan radical en menos de 20 años? La proximidad a EE.UU. quizás haya agudizado el problema —muchos mexicanos reciben la influencia cultural y mediática estadounidense, capaz de afectar a sus hábitos de vida y de nutrición—, pero la obesidad ha brotado asimismo en países mucho menos relacionados con los Estados Unidos. También podría haber intervenido la emigración desde el campo a las ciudades. Los estudios realizados sobre más de 157.000 mujeres de 39 países en vías de desarrollo demuestran que en casi todos ellos las mujeres de áreas urbanas son más propensas al sobrepeso que las que habitan en el campo. (Se han recogido más datos de mujeres que de hombres porque los estudios se centraban en la capacidad reproductora.) Pero la obesidad se extiende también por las zonas rurales; en las de México, Colombia, Turquía, Sudáfrica y Jordania más de la mitad de las mujeres pesa demasiado.

La relación entre obesidad y pobreza explica mejor esta realidad. En los países cuyo producto interior bruto sobrepasa los 2500 dólares per cápita —la mayoría de las naciones en vías de desarrollo, salvo el Africa subsahariana—, las mujeres de menos recursos presentan índices de obesidad más elevados que las de superior



BRASIL

Producto interior bruto (PIB) per cápita:
8800 dólares
Porcentaje de adultos con sobrepeso u obesidad:
20,0 (1975) 36,7 (1997)

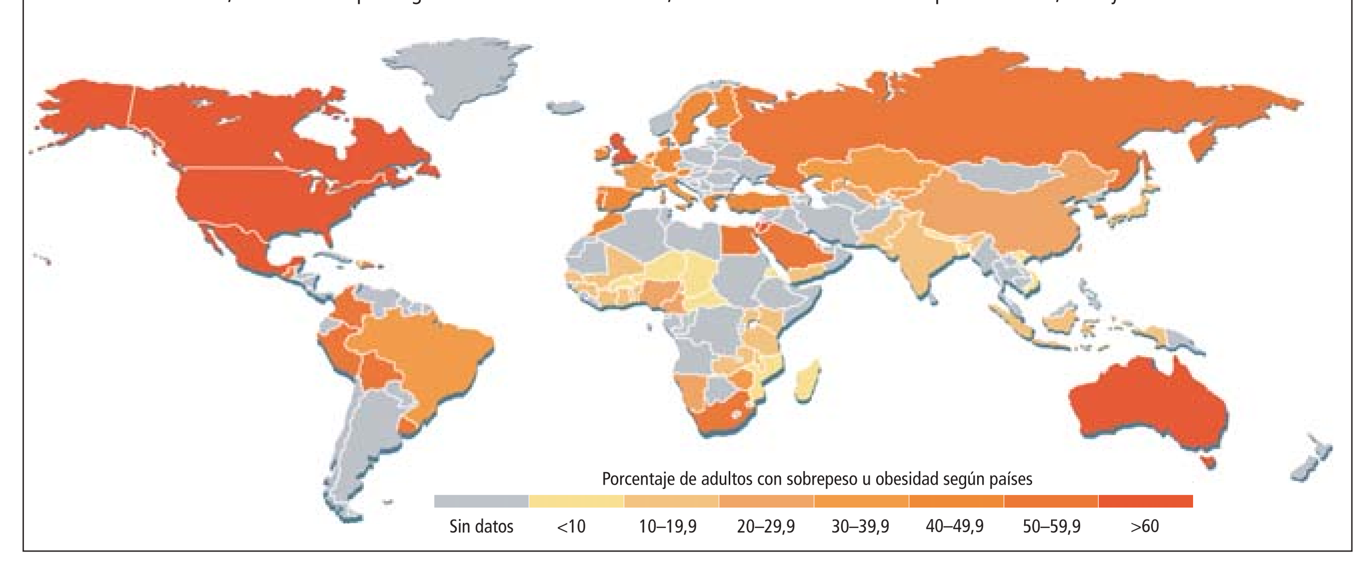
En Brasil y otros países de Iberoamérica han proliferado los supermercados en los dos últimos decenios, lo que ha provocado un gran aumento en el consumo de alimentos preparados.



AFP/GETTY IMAGES (*fotografía*)

LA OBESIDAD SE EXTIENDE POR EL MUNDO

Las personas con sobrepeso (índice de masa corporal superior a 25) u obesas (mayor de 30) son ya tan frecuentes en muchos países en vías de desarrollo como lo son en EE.UU., Canadá o Europa. En grandes zonas de Iberoamérica, norte de Africa y Oriente Medio el problema ha desencadenado la irrupción de diabetes, enfermedades cardíacas y otras patologías. Los índices de obesidad crecen también con rapidez en China, India y otras naciones asiáticas.



GEORGE RETSECK; FUENTE: BARRY M. POPKIN *Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill (mapa)*

nivel socioeconómico, justamente como en los Estados Unidos. Al crecer las rentas medias en tales países, los trabajadores del campo y los menesterosos de la ciudad han ido adoptando hábitos modernos que conducen a la obesidad, tales como sentarse ante el televisor y comprar en supermercados, pero no tienen todavía acceso a la educación, a alimentos más saludables o a actividades recreativas que les servirían para controlar mejor su peso.

El cuadro dramático se complica porque la gente obesa del Tercer Mundo propende más a contraer diabetes o hipertensión que los individuos obesos de ascendencia europea. Hace ya tiempo que se supone que los pueblos de Iberoamérica, Africa y sur de Asia contaban con una proporción mucho mayor de “genes de frugalidad”, seleccionados por la evolución para sobrevivir a épocas de hambre gracias a un almacenamiento de grasa más eficaz. Por desgracia, cuando un poseedor de tales genes contrae sobrepeso, su grasa corporal tiende a acumularse en torno al corazón y al hígado, lo que aumenta el riesgo de diabetes y trastornos cardiovasculares. En China, con niveles de obesidad en rápido ascenso, casi un tercio de la población padece hipertensión. Y lo que es peor: según mis estudios, sólo una pequeña fracción de los chinos afectados recibe el tratamiento adecuado. Los países occidentales pueden permitirse revisiones y medicación de los pacientes diabéticos e hipertensos, mientras que en el mundo subdesarrollado tales trastornos no reciben apenas tratamiento, si alguno, y provocan la pronta aparición de complicaciones más serias.

Desastre en la nutrición

Uno de los factores que más han contribuido a la obesidad en el Tercer Mundo es la reciente popularidad de los refrescos azucarados. Durante la mayor parte de nuestra historia evolutiva, los únicos líquidos ingeridos eran la leche materna en la lactancia y, una vez destetado el niño, el agua. Como el agua no aporta calorías, el cuerpo humano no evolucionó hacia una reducción de la ingesta de alimentos en medida suficiente para compensar el consumo de tales bebidas. En consecuencia, cuando bebemos refrescos calóricos, nuestro consumo total de calorías aumenta, puesto que seguimos tomando la misma cantidad de alimentos. Es cierto que, desde hace miles de años, se bebe vino, cerveza, jugos de fruta y leche de animales domésticos, pero la proporción de calorías así obtenidas ha sido más bien pequeña hasta los últimos 50 años, cuando los refrescos de cola azucarados comenzaron a invadir el mundo.

En física, una caloría se define como la energía calorífica necesaria para elevar en un grado Celsius la temperatura de un gramo de agua. En las etiquetas de alimentos envasados, se toma por unidad la kilocaloría (kcal), equivalente a 1000 calorías. Las necesidades de energía diarias dependen de la edad, el peso y los niveles de actividad de la persona, pero la mayoría de los especialistas en nutrición recomiendan de 1800 a 2000 kcal para mujeres y 2000 a 2500 para varones. Cuando una persona consume 3500 kcal más de las que necesita, el correspondiente suplemento calórico le hará ganar, por lo normal, 0,45 kilogramos

El autor

Barry M. Popkin es profesor de epidemiología de la nutrición en la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, donde dirige el Centro Interdisciplinar para la Obesidad. Su programa de investigación examina a escala nacional los cambios en la dieta, tipos de actividad y composición corporal en EE.UU., China, Rusia, Filipinas, Brasil y otros países. Preside el Comité de Transición Nutricional de la Unión Internacional de Ciencias de la Nutrición y ha publicado numerosos artículos y libros. En 1998 ganó el Premio Kellogg de Nutrición Internacional.



EGIPTO

PIB per cápita:
4200 dólares
Porcentaje de adultos con sobrepeso u obesidad:
59,1 **(1998)**

En Egipto, el problema de la obesidad es especialmente grave para las mujeres que viven en las ciudades. Los pobres adoptan hábitos modernos, como ver televisión, que exacerban esa tendencia.

de peso. Se estima que la adición de azúcares a los refrescos añadió entre 1977 y 2006 unas 137 kcal a la dieta media diaria de un estadounidense. En todo un año, ello podría aumentar el peso en 6,4 kilogramos. En los países del Tercer Mundo se están alcanzando rápidamente los niveles de consumo de edulcorantes calóricos de EE.UU.; los mexicanos, por ejemplo, consumen al día un promedio de 350 kcal procedentes de refrescos.

La creciente implantación de supermercados en todo el mundo subdesarrollado ha disparado el consumo de refrescos azucarados y alimentos elaborados. Cadenas como Wal-Mart, Carrefour y Ahold abren por doquier enormes galerías donde ofrecen gran variedad de baratos tentempiés y refrescos dulces. En Iberoamérica, la proporción de gastos de alimentación en supermercados ha pasado del 15 por ciento (1990) al 60 por ciento (2000), y su crecimiento se mantiene. No cuantificada todavía la repercusión de sustituir por hipermercados los tradicionales mercados de pueblo, los escasos datos disponibles sugieren que los nuevos hábitos de compra fomentan el consumo de alimentos elaborados, particularmente de productos con azúcar añadido.

Otro factor determinante en la obesidad es que una nación pase a ingerir alimentos ricos en energía, tal y como está ocurriendo en numerosos países en fase de desarrollo. El cuerpo humano regula el apetito según la cantidad de alimentos ingerida, en vez de por su contenido calórico. Esta adaptación era útil en regiones que conocían grandes oscilaciones estacionales en precipitaciones y temperaturas que afectaban a la producción alimentaria; en las épocas de abundancia, la gente podía hartarse de carnes ricas en calorías y de aceites, ganando el peso suficiente para sobrevivir a las hambrunas subsiguientes.

Recientemente, sin embargo, en los países en vías de desarrollo se ha disparado el consumo de aceites con muchas calorías: aceite de soja, aceite de palma, aceite de maíz y multitud de variantes. En China, por ejemplo, la ingesta media de aceites vegetales por persona y día creció de 14,8 gramos en 1989 a 35,1 gramos en 2004, lo que añadía al día 183 kcal a la dieta de la población. En Oriente Medio, Africa y parte del sur y sudoeste de Asia se han producido aumentos similares. Como he podido demostrar, los avances técnicos en la producción y el tratamiento de semillas oleaginosas han convertido el aceite en una opción bastante asequible para las familias pobres; en China, los desfavorecidos invierten en aceites vegetales una parte mayor de su gasto en comida que los ricos.

El tercer cambio importante en la dieta del mundo en vías de desarrollo es la explosión del consumo de alimentos de origen animal. En los últimos 20 años, el incremento de la producción mundial de carnes, aves, pescado, huevos y leche procede en su mayor parte de naciones en esa situación. Los latinoamericanos comen más carne de vacuno, los chinos devoran más carne de cerdo y, los indios, más productos lácteos. De 1989 a 1997, el consumo de alimentos de origen animal se ha triplicado en las zonas rurales de China con creces, y casi se ha cuadruplicado en las áreas urbanas. Para 2020 se espera que los países en vías de desarrollo produzcan casi dos terceras partes de la carne y la mitad de la leche que se consuma en el mundo. Y estas comidas

REUTERS (*fotografía*)

tan ricas en energía no sólo elevan los índices de obesidad, sino que fomentan también la aparición de enfermedades cardíacas en el Tercer Mundo por aportar un exceso de grasas saturadas en la dieta diaria.

Además de convertirse al poco sano régimen alimentario occidental, los naturales de estos países comienzan a trabajar, viajar y divertirse en unas formas que no hacen sino empeorar los efectos de la dieta. Cuando yo residía en Asia en los años setenta, el suministro eléctrico era muy escaso en las zonas rurales, no había carreteras asfaltadas y el único empleo posible era la explotación agrícola o ganadera. Y sobre todo, la agricultura exigía en Asia un gran esfuerzo: todas las labores —el trasplante del arroz, escardar, cavar, abonar, recolectar— se hacían a mano. También era normal realizar a mano complicados trabajos en los suburbios de la Vieja Delhi, en India, donde viví un año.

Hoy, sin embargo, los diversos componentes de la infraestructura moderna —carreteras, fábricas, acceso a los medios y otros semejantes— están llegando a los más remotos rincones. Numerosos agricultores de Asia e Iberoamérica poseen tractores para roturar la tierra y camiones para transportar sus productos al mercado. En China ha crecido del 44 por ciento (1989) al 66 por ciento (2004) la proporción de población que trabaja en labores de poco esfuerzo. En 1989 muy pocos chinos tenían televisor; hoy lo poseen más de la mitad de las familias. El cambio a estilos de vida más sedentarios recorta nuestras necesidades de energía y, por tanto, las calorías sobrantes se acumulan antes. Nuestros estudios en China demostraron que todos los cambios de hábitos vitales observados —mayor uso de la televisión, menos traslados a pie y en bicicleta, menores esfuerzos físicos en casa y en el lugar de trabajo— han provocado notables ganancias de peso.

Panorama general

La tendencia dominante que impulsa todos estos cambios de dieta y de forma de vida es la globalización: una circulación más libre de capitales, técnicas, bienes y servicios a través del mundo. Un claro ejemplo es la facilidad con que se abren enormes hipermercados en los países en vías de desarrollo, extendiendo a nuevas comunidades humanas los efectos en la salud, tanto positivos como negativos, de los alimentos preparados. Las grandes cadenas han potenciado el atractivo de la televisión al ofrecer programas de entretenimiento a regiones que antes sólo recibían aburridos programas gubernamentales. Por añadidura, los organismos internacionales, el Banco Mundial entre ellos, han promovido transformaciones en la agricultura que estimulan la difusión en los países en vías de desarrollo de dietas poco saludables.



EDUARDO VERDUGO *AP Photo* (*fotografía*)

MEXICO

PIB per cápita:
10.700 dólares
Porcentaje de adultos con sobrepeso u obesidad:
61,9 (2000) 69,3 (2006)

Uno de los factores que más contribuyen a la obesidad es el consumo de bebidas azucaradas. Casi la séptima parte de los habitantes sufren de diabetes de tipo 2 (iniciada en edad adulta).

Durante largo tiempo se ha sostenido que, una vez producidos suficientes cereales y tubérculos en un país, deberían subvencionarse masivamente las industrias ganadera, avícola y pesquera. La consecuencia ha sido una fuerte reducción en los precios de los alimentos de origen animal. El precio al por mayor de 100 kilogramos de carne de vacuno en el mercado mundial descendió (en valor real) desde 530 dólares en los primeros años setenta hasta cerca de 150 a mitad de los noventa. La caída del coste de los aceites vegetales y alimentos de procedencia animal, combinada con el reciente aumento del poder adquisitivo personal en China, India y otras naciones en desarrollo, ha desencadenado una revolución en el consumo. La gente abandona rápidamente su tradicional dieta ligera en grasas y rica en fibra, y opta por comidas grasientas muy calóricas, edulcorantes calóricos y carbohidratos refinados.

¿Cómo oponerse a una transición tan arrolladora y perniciosa? Ningún país en los tiempos modernos ha logrado reducir el número de sus ciudadanos con sobrepeso u obesidad. La epidemia de obesidad se extiende por EE.UU. y muchas otras naciones. El mundo está engordando; las tasas de aumento anuales son hoy más elevadas que hace 15 años.

Los representantes de la industria alimentaria vienen insistiendo, desde hace tiempo, en que los gobiernos no deben limitar las comidas que elija cada individuo. Su solución consiste en que la gente aprenda a controlar su propia dieta y a mantener una mayor actividad física. Hasta la mayoría de los expertos en nutrición de EE.UU. y otras naciones se centran en la urgente necesidad de educar a los niños y a sus padres. Pero esta línea de actuación no tiene en cuenta los enormes cambios sociales, técnicos y estructurales que arrastran a millones de personas hacia lánguidas vidas de obesidad. Si se deja sin control, la transición nutricional producirá un enorme aumento de la morbilidad y temibles reducciones de la esperanza de vida.

Dentro del mundo subdesarrollado, casi todos los programas de ayuda gubernamentales y privados siguen orientados a combatir el hambre y las enfermedades infecciosas. Pueden, sin embargo, tener efectos contraproducentes; los programas nacionales contra el hambre en México y Chile tal vez hayan elevado los niveles de obesidad entre algunos receptores de esas ayudas. Así, el programa “Oportunidades” de México (antes llamado PROGRESA) ha mejorado los índices de crecimiento de los niños en las familias que se acogieron al mismo, pero ha disparado también la obesidad en las mujeres de la ciudad que recibieron pagos en efectivo y nutrición suplementaria. Por ello, los gestores del programa están pensando en suspender la distribución de leche enriquecida a las mujeres adultas y suministrarles en su lugar suplementos vitamínicos.

Quizá les sea difícil a los políticos o funcionarios responsables del desarrollo conseguir apoyo para combatir la obesidad, todavía considerada un signo de pereza y glotonería más que mera consecuencia de cambios a escala mundial. Sin embargo, esta nueva amenaza

CHINA

PIB per cápita:
7700 dólares
Porcentaje de adultos con sobrepeso y obesidad:
12,9 (1991) **27,3** (2004)

La floreciente economía china, con una renta media en ascenso, ha permitido que la gente del país consuma más alimentos ricos en calorías y adopte hábitos de vida más sedentarios.



EUGENE HOSHIKO *AP Photo* (*izquierda*); XIE HUANCHI *AP Photo/Xinhua* (*derecha*)

exige actuar. Las organizaciones no gubernamentales, como la Fundación Bill & Melinda Gates, que luchan por mejorar la salud pública y reducir la pobreza en todo el mundo, tienen que hacer frente a la epidemia de obesidad antes de que sea demasiado tarde.

A menos que se emprendan enérgicas actuaciones preventivas, los costes clínicos de las enfermedades causadas por la obesidad podrían hundir las economías de China, India y muchos otros países en vías de desarrollo. China gasta ya más del 6 por ciento de su producto interior bruto en enfermedades crónicas relacionadas con la nutrición, y se prevén fuertes aumentos del gasto en los próximos 20 años.

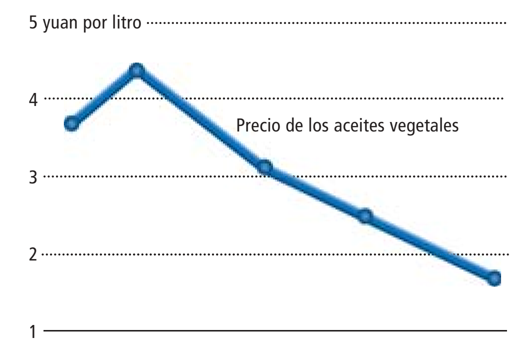
Se necesitará, además, la intervención de los gobiernos. Podríamos comenzar por reestructurar las masivas subvenciones a la agricultura que fomentan la producción de carne, aves y productos lácteos. En vez de asignar miles de millones de dólares a gigantescas empresas que cultivan cereales para el ganado, los EE.UU. y otras naciones de elevada renta podrían dedicar parte de esos fondos al cultivo de frutas y verduras. Tal reforma podría ayudar a los ciudadanos de países en vías de desarrollo por medio de un ajuste de precios en el mercado mundial. Encarecer la carne y abaratar las verduras aportaría un incentivo a la elección de alimentos más saludables. Las nuevas políticas agrícolas estimularían también el consumo mundial de cereales integrales, más ricos en fibra, vitaminas y minerales que los carbohidratos refinados.

La recuperación de las subvenciones no será tan eficaz para desalentar el consumo de comidas y refrescos azucarados, ya que el coste de los edulcorantes sólo representa una pequeña fracción del precio de esos productos. Como alternativa podría gravarse todos los edulcorantes calóricos (sacarosa, jarabe de maíz rico en fructosa y jugos de fruta concentrados) con un impuesto alto; por ejemplo, cinco centavos de dólar por gramo. En México, uno de los mayores consumidores de bebidas dulces en el Tercer Mundo, el autor colabora con el Ministerio de Sanidad para fijar impuestos sobre estas y otras bebidas ricas en calorías. Trabaja, asimismo, con el gobierno chino para ensayar un gravamen sobre los aceites vegetales en determinadas provincias. Hemos comprobado que, al gravar las grasas alimenticias, los pobres ingieren en China menos calorías y más proteínas: en lugar de las grasas consumen alimentos más saludables. El efecto sería aún más positivo si los ingresos obtenidos de los impuestos se gastaran en fomentar una nutrición mejor.

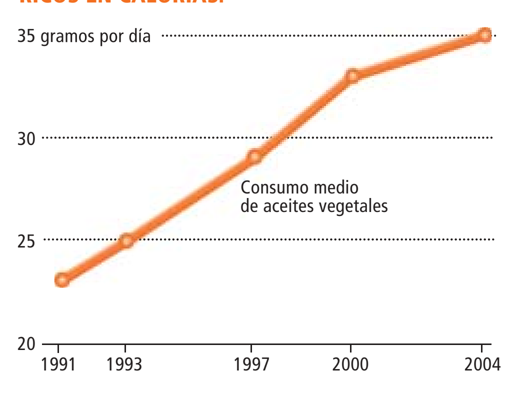
Investigadores y expertos en desarrollo han propuesto numerosas líneas de actuación semejantes, pero han de ajustarse a las necesidades particulares de cada país. Una que presenta especial interés es la de prohibir la publicidad de refrescos y alimentos azucarados en los programas infantiles de televisión, si no en todos los medios. Mas al mismo tiempo no podemos olvidar que todavía mucha gente pasa hambre en los países en vías de desarrollo. Allá se han de idear programas de ayuda que satisfagan las necesidades de los hambrientos sin provocar un aumento de la obesidad. A la inversa, hay que garantizar que las actuaciones dirigidas a combatir la obesidad —tales como reducir el consumo de aceites vegetales y alimentos de origen animal— no perjudiquen a los desnutridos. Afortunadamente, ciertas opciones resultan provechosas tanto para los obesos como para los mal alimentados: la promoción de la lactancia materna y un mayor consumo de frutas y verduras aliviaría ambas situaciones.

Contener la oleada de obesidad en el Tercer Mundo es una labor ingente. Se necesitan más estudios para determinar las mejores maneras de influir en los hábitos alimentarios de esos países. Desde los orígenes de nuestra especie, nos hemos esforzado por conseguir una comida más sabrosa y una vida más sedentaria. Ahora tendremos que invertir esas tendencias, si queremos un mundo que sea más sano.

A MEDIDA QUE SE ABARATAN LOS ACEITES VEGETALES EN CHINA ...



... CRECE EL CONSUMO DE ESTOS ALIMENTOS RICOS EN CALORIAS.



LA CAIDA DE LOS PRECIOS de los aceites vegetales ha favorecido dietas insanas en el Tercer Mundo. En China, la fuerte bajada de los precios de los aceites de semillas de colza, de soja y de cacahuete ha permitido que hasta los más pobres aumenten su ración de alimentos tan ricos en calorías.

JEN CHRISTIANSEN; FUENTE: ESTUDIO DE SALUD Y NUTRICION EN CHINA

Bibliografía complementaria

THE NUTRITION TRANSITION: DIET AND DISEASE IN THE DEVELOPING WORLD. Preparado por Benjamín Caballero y Barry M. Popkin. Academic Press, 2002.

SOCIOECONOMIC STATUS AND OBESITY IN DEVELOPING COUNTRIES: A REVIEW. Carlos A. Monteiro, E. C. Moura, W. L. Conde y Barry M. Popkin en *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 82, págs. 940-946; 2004.

THE WORLD IS FAT. Barry M. Popkin. Avery-Penguin (en prensa).

Para más información sobre el programa de investigación "Nutrition Transition", consúltese www.nutrans.org

HAMBRE, TODAVIA

La octava parte de la población mundial carece de alimento suficiente

Per Pinstrup-Andersen y Fuzhi Cheng

Durante los treinta minutos que invertirá usted en leer este artículo, 360 niños de edad preescolar habrán muerto de hambre y malnutrición. Doce por minuto, las veinticuatro horas del día. Más de seis millones al año. En los países en vías de desarrollo, uno de cada cuatro niños preescolares padece hambre y deficiencias nutritivas. Estos niños no crecen como deberían, poseen débil resistencia a las enfermedades, les va peor en el colegio y, de adultos, ganan menos. Su bajo peso al nacer les es una rémora ya desde el primer día de su vida.

Más de 800 millones de personas, casi veinte veces la población española, padecen hambre —"precariedad alimentaria", como se dice a menudo— cada día. Son muchos más quienes sufren carencias de micronutrientes: su alimentación no contiene suficientes vitaminas o minerales. La ingesta insuficiente de hierro, con la anemia consiguiente, es la más extendida de estas aflicciones.

El problema no estriba, como se podría pensar, en que la producción de alimentos no dé abasto. El mundo nada en comida; cada vez son más quienes se alimentan en exceso. Los países en vías de desarrollo están en plena transición nutricional: de alimentarse con tubérculos y cereales básicos, han pasado a hacerlo con carnes, lácteos y productos procesados ricos en grasas y azúcar. Ese cambio trae consigo un doble problema nutricional: hambre o graves deficiencias en unos hogares, obesidad, con las enfermedades concomitantes, en otros.

Los progresos técnicos en la agricultura se han traducido en que cada vez se cosechen más alimentos a menor coste que nunca. La globalización, las comunicaciones y los avances en la eficiencia del transporte han facilitado el traslado de alimentos a grandes distancias con un costo razonable. En la actualidad, se están produciendo alimentos suficientes para satisfacer las necesidades de energía y proteínas de todos los seres humanos del planeta.

Los conocimientos sobre nutrición están muy difundidos y hay una vasta documentación acerca de los enormes costes del hambre y la desnutrición, lo mismo en sufrimientos humanos que en términos económicos, como la hay acerca de los beneficios que se obtienen con su erradicación.

La razón principal de la persistencia del hambre y de las deficiencias nutritivas es la pobreza; son muchos millones los hogares que no pueden permitirse comprar ni alimentos nutritivos, ni el apero agrícola que necesitarían para cultivarlos. Y a esta penuria contribuyen, entre otros factores: las dificultades para acceder a la planificación familiar y a los cuidados de la salud reproductiva, así como las enfermedades que se propagan por la falta de saneamiento y el consumo de aguas sin depurar.

Las actuaciones encaminadas a reducir el hambre, para ser eficaces, han de fundarse en un concienzudo conocimiento de quiénes son los hambrientos, de los lugares donde se encuentran y de las causas exactas de su desnutrición. Expondremos en las páginas siguientes lo que en estos momentos se sabe sobre estos

CONCEPTOS BASICOS

- El mundo produce alimentos suficientes para atender a las necesidades de energía y proteínas de cada ser humano que vive en él. ¿Por qué, pues, todavía son tantos los hambrientos?
- La pobreza impide que millones de personas puedan adquirir o cultivar alimentos adecuados.
- Para aliviar el hambre, la acción política ha de centrarse en la eliminación de la pobreza. Son esenciales el desarrollo agrícola, la enseñanza básica, la sanidad y el buen gobierno.

problemas. Mencionaremos los pasos que se han de dar para alimentar al mundo.

¿Quiénes son los hambrientos?

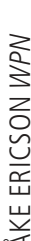
El hambre puede ser crónica o transitoria. El hambre crónica es endémica en las gentes atrapadas en el pozo de la miseria. Aunque no todos los pobres son hambrientos, casi todos los famélicos son pobres. La gran mayoría —el 75 por ciento— de los crónicamente infranutridos habita en zonas rurales de países en vías de desarrollo. No poseen tierras y a menudo se encuentran sin trabajo o cobrando jornales muy bajos. O bien se trata de campesinos con parcelas pequeñas, a quienes les cuesta disponer de créditos o de otros elementos necesarios para la agricultura, como las simientes, los abonos o medios para proteger sus cultivos. Viven en hogares encabezados por mujeres sin apenas capacidad para conseguir ingresos, o en hogares donde los adultos padecen enfermedades, como el sida. En muchos casos se trata de huérfanos o individuos sin familia. Por lo general, pasan inadvertidos para los órganos de poder o decisión de las sociedades a las que pertenecen. "Hambre silenciosa" es una descripción conmovedora de su situación.

Las hambrunas transitorias creadas por desastres no suelen pasar inadvertidas, sean esos desastres naturales o los hayan provocado los seres humanos: sequías, inundaciones, terremotos, conflictos armados o políticas equivocadas. El mundo ha demostrado generosidad para ayudar a las víctimas de hambrunas transitorias, pero sólo constituyen una pequeña parte —alrededor de un 10 por ciento— de los hambrientos del mundo. Al igual que los famélicos crónicos, suelen habitar sobre todo en zonas rurales, principalmente de Africa y Asia. Estas poblaciones rurales dependen casi por completo de la agricultura; rara vez cuentan con alguna otra fuente de ingresos y son, por consiguiente, muy vulnerables ante los reveses de la naturaleza.

Aunque los desastres naturales siguen socavando la seguridad alimentaria en muchas regiones del mundo, en los últimos años las hambrunas han afectado también a regiones devastadas por el hombre. En el período de 1992 a 2003, los conflictos armados y los problemas económicos han sido responsables de más del 35 por ciento de las crisis de penuria alimentaria, frente a un porcentaje que rondaba el 15 por ciento durante el período de 1986 a 1991.

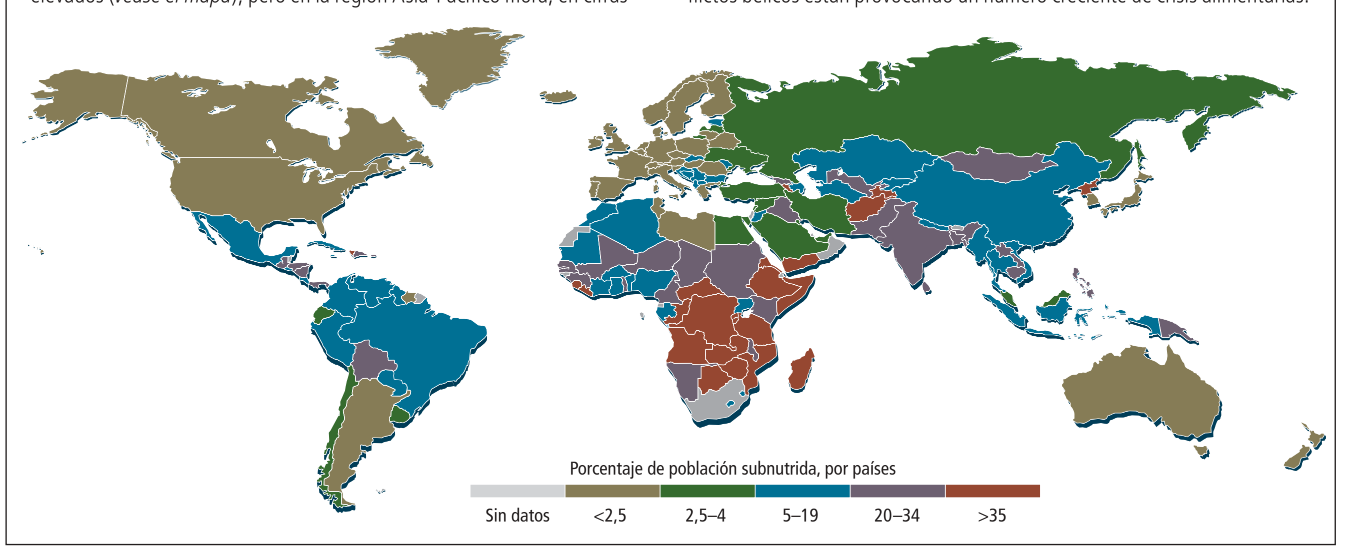
El hambre y la desnutrición afectan de forma muy desproporcionada a dos grupos de personas: niños en edad preescolar y mujeres. Hay unos 146 millones de preescolares con peso insuficiente a consecuencia del hambre,

1. LAS VICTIMAS DE LA HAMBRUNA de Etiopía en 2006 nos hacen ver la más dura realidad: la desnutrición dista de estar vencida.



LAS PEORES ZONAS DE HAMBRE

La gran mayoría de los famélicos del mundo habitan en zonas rurales de países en vías de desarrollo. Encontramos en Africa los porcentajes más elevados (*véase el mapa*), pero en la región Asia-Pacífico mora, en cifras absolutas, el mayor número de gentes pobres con alimentación precaria. La causa principal del hambre es la sequía, pero en estos últimos años los conflictos bélicos están provocando un número creciente de crisis alimentarias.



El hambre, una ingesta energética descompensada y las carencias en vitaminas y minerales son responsables de más de la mitad de las enfermedades que se padecen en el mundo.

—Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

sea crónica o aguda. Lo cual significa que el 18 por ciento de los hambrientos son niños de menos de cinco años. La desnutrición infantil es a menudo traslación directa del hambre que sus madres también padecen. Todos los años nacen alrededor de 20 millones de niños con peso insuficiente. Los niños subnutridos tienen menos ánimos para jugar o estudiar. Muchos no llegan a recibir ni siquiera una educación rudimentaria. Se cuentan por millones los que abandonan la escuela prematuramente. El hambre crónica también retrasa el desarrollo físico y mental. Lo más trágico es que enfermedades infantiles infecciosas, como el sarampión o la tos ferina, resultan más letales para los niños desnutridos que para los debidamente alimentados.

Las mujeres, de cualquier edad, tienen mayores probabilidades de ser víctimas de la infranutrición: más del 60 por ciento de los hambrientos del planeta son mujeres. Aunque las mujeres son, con mucho, las principales productoras de alimentos en todo el mundo, las estructuras sociales y las tradiciones conducen a menudo a que reciban menos para comer que los varones. Mientras que en los países en vías de desarrollo el 25 por ciento de los hombres sufren de anemia ferropénica, la proporción de mujeres con esa dolencia alcanza el 45 por ciento. Cada día fallecen en el parto 300 mujeres a causa de su deficiencia en hierro.

¿Dónde se encuentran?

La Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que, entre 2001 y 2003, ha estado subalimentada una media de 854 millones de personas, cada año: 820 millones en países en vías de desarrollo, 25 millones en países en transición (como los antiguos miembros de la Unión Soviética) y unos nueve millones en los países industrializados. Una fracción desproporcionadamente grande de las gentes más pobres y de alimentación más precaria vive en Africa, pero la región Asia-Pacífico cuenta, en valores absolutos, con el mayor número de residentes crónicamente infranutridos. En los países en vías de desarrollo, tomados en conjunto, el número de desnutridos disminuyó entre los períodos 1990-1992 y 2001-2003, pero las cifras se incrementaron en 8 millones en Asia Meridional (de la que forma parte India) y en 37 millones en el Africa Subsahariana.

Estadísticas recientes revelan que, en los países en vías de desarrollo, el 27 por ciento de los niños menores de cinco años *pesa* menos y el 31 por ciento *mide* menos de lo que es conveniente. En varios grandes países de Asia Meridional (entre ellos, India y Bangladesh), los porcentajes de niños con mermas de peso y talla son bastante más elevadas que las de la región en su conjunto, y mucho mayores que los de Africa.

En valores absolutos, la infranutrición infantil en Asia es la más grave, pero dado que la región asiática está progresando macroeconómicamente, es muy posible que estas elevadas tasas de infranutrición escapen a la atención de sus gobiernos y de las organizaciones humanitarias, a menos que se haga especial hincapié en ellas.

GEORGE RETSECK; FUENTE: PROGRAMA MUNDIAL DE ALIMENTOS

¿Por qué están hambrientos?

El hambre puede tener multitud de causas. Como hemos señalado, no es cierto que una de ellas sea la insuficiente producción de alimentos a escala mundial. En el planeta, en su conjunto, se producen alimentos más que suficientes para sustentar a todos sus habitantes. Es la desigual distribución de los alimentos entre los distintos países —y también dentro de ellos— lo que ha provocado el problema del hambre en el mundo.

Esta desigualdad en el reparto tiene sus raíces en la pobreza: en tiempos de escasez de alimentos, los países pobres no pueden, pura y simplemente, adquirir suficientes alimentos en los mercados mundiales; incluso cuando el propio país dispone de alimentos, sus habitantes más pobres no tienen a menudo con qué pagarlos. La miseria limita también la producción de alimentos en las zonas más depauperadas, porque los menesterosos carecen de recursos para invertir en agricultura.

Los desastres naturales —sequías, inundaciones, huracanes, terremotos, etcétera—, que son la causa primaria de las hambrunas agudas o transitorias, han ido a más durante el decenio pasado, con terribles consecuencias para los países pobres. La sequía es hoy la causa principal de hambruna en las distintas partes del mundo. Las sequías de 2004 provocaron enormes pérdidas en ganados y cultivos en regiones de Kenia, Uganda, Somalia, Eritrea y Etiopía. En muchos países, la deforestación, la salinización de los suelos y las malas prácticas agrícolas, como la sobreexplotación de las tierras y el esquilmado de los pastos, están exacerbando los desastres naturales.

Desde hace algunos años se han incrementado también las crisis de alimentos directamente atribuibles a causas humanas. Conflictos armados en Asia, en Africa y en Iberoamérica han desarraigado a millones de personas y precipitado algunas de las peores hambrunas del mundo. En 2004, la escalada del conflicto en Darfur, una región de Sudán, obligó a un millón de personas a huir de sus hogares y provocó una gran crisis alimentaria, a pesar de que la región había disfrutado de condiciones agrícolas aceptables. En los años noventa, con la extensión de los combates por toda Africa Central, el porcentaje de hambrientos se elevó del 36 al 56 por ciento, mientras que la conclusión del conflicto armado de Mozambique trajo un rápido crecimiento económico y alivió la pobreza. En regiones africanas más pacíficas, en Ghana por ejemplo, las tasas de desnutrición se han ido reduciendo.

La plaga del hambre está exacerbada por el sida. En los hogares, esta enfermedad ha provocado una gran precariedad alimentaria: ha dejado a millones de niños sin nadie que les cuide, ha agotado recursos, multiplicado los gastos sanitarios y obligado a desviar recursos que, si no, se habrían encaminado a inversiones productivas. Ha reducido la capacidad de los gobiernos de impedir o mitigar las crisis alimentarias, segadas por la enfermedad las vidas de productores y profesionales de importancia crucial en diferentes sectores de la economía. Los efectos negativos de la pandemia se ven

Los autores

Per Pinstrup-Andersen es titular de la cátedra H. E. Babcock de Alimentación, Nutrición y Política Pública y de la cátedra J. Thomas Clark de Gestión Empresarial de la Universidad Cornell; también es profesor de economía agraria en la Universidad de Copenhague. Recibió el Premio Mundial de la Alimentación en 2001. **Fuzhi Cheng** es asociado posdoctoral de la Universidad Cornell.

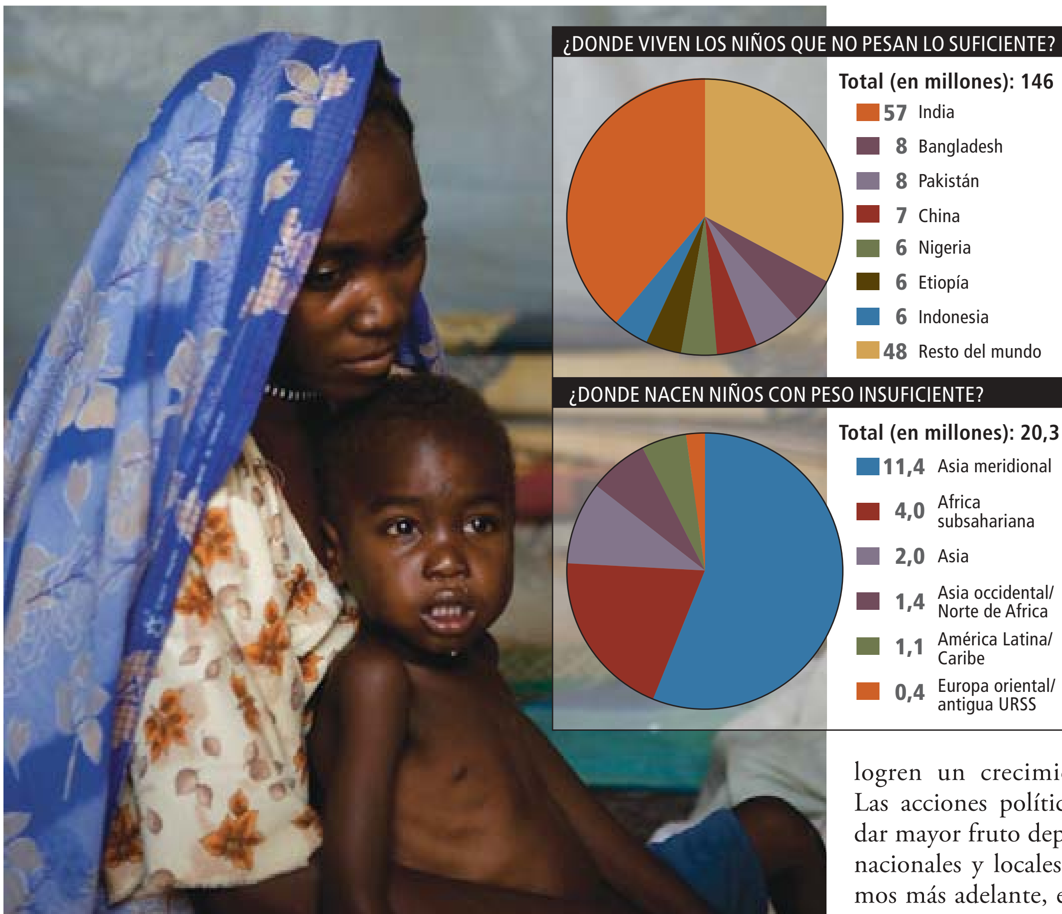


2. LA PRODUCCION DE ALIMENTOS es escasa en muchos lugares, como en estos campos de India, porque los menesterosos carecen de recursos que invertir en agricultura. El hambre es entonces crónica.



3. LAS DEVASTACIONES INDUCIDAS POR EL SER HUMANO provocan todavía más desnutrición transitoria. Así ha ocurrido en Corea del Norte, donde estas personas hacen cola ante un punto de distribución de alimentos.

MANISH SWARUP *AP Photo* (*IZQUIERDA*); PROGRAMA MUNDIAL DE ALIMENTOS *AP Photo* (*derecha*)



4. LAS MUJERES Y LOS NIÑOS constituyen la parte mayor de los famélicos. Aproximadamente 500 millones de mujeres están subnutridas; 146 millones de niños de edad preescolar tienen un peso insuficiente (*diagrama superior*). El hambre infantil es casi siempre traslación del hambre que sufren las madres, que dan a luz niños con poco peso (*diagrama inferior*).

RON HAVIV VII (*fotógrafo*); MELISSA THOMAS; FUENTE: UNICEF (*gráficas*)

reforzados por otras crisis —pobreza, guerras, mal uso de recursos, estrés climático— que, conjuntamente, crean un círculo vicioso de malnutrición y enfermedad.

¿Qué se puede hacer?

Las naciones del mundo no han dejado caer el hambre en el olvido, pero las bellas palabras y las promesas no se han traducido en esfuerzos suficientes. En la Cumbre Mundial sobre Alimentación de 1996, los dirigentes de casi todos los países acordaron reducir el número de hambrientos a la mitad, de unos 800 millones a unos 400 millones, en el período de 25 años que va de 1990 a 2015.

Esos mismos países se reunieron cinco años después para medir sus progresos. Aunque algunos estados, como China, habían avanzado a grandes zancadas hacia tal objetivo, más de la mitad de los países, especialmente en Africa subsahariana, tenían *más* hambrientos todavía, y a escala mundial, las cifras totales no habían cambiado de forma apreciable. Los líderes renovaron sus promesas de reducir a la mitad el número de los famélicos, pero los acontecimientos posteriores indican que es muy poco lo que se ha hecho de positivo en tal sentido.

Un grupo diferente, la Cumbre del Cambio de Milenio, reunido en 2000, reafirmó el objetivo, si bien ahora se trataba de reducir a la mitad la *proporción* de hambrientos, meta más fácil que disminuir el número total de personas que padecen hambre. Aunque es verosímil que en Asia Oriental y Sudoriental y en América Latina se alcance dicha meta, no será posible lograrlo a escala mundial. Entre 800 y 900 millones de habitantes del mundo seguirán con hambre en 2015.

La columna vertebral de toda estrategia encaminada a eliminar el hambre y la desnutrición estriba en lograr que los menesterosos logren un crecimiento económico rápido. Las acciones políticas concretas que puedan dar mayor fruto dependerán de circunstancias nacionales y locales. Pero, como demostraremos más adelante, en todas ellas desempeñan un papel esencial los programas de desarrollo rural, que hacen hincapié en la agricultura, en los servicios básicos educativos y sanitarios, y por supuesto, en el buen gobierno.

Dado que el 75 por ciento de los pobres del mundo habita en áreas rurales, el componente crucial de todo programa puede muy bien consistir en el desarrollo agrario y del medio rural. Según la FAO, en todos los países que se han puesto en camino hacia el Objetivo del Desarrollo en el Cambio de Milenio, los aumentos de renta en el sector agrario son notablemente mayores que el promedio. Sin embargo, muchos países en vías de desarrollo han hecho caso omiso de esta observación y siguen concediendo prioridad al desarrollo urbano. Este sesgo contrario a la agricultura merma la inversión en infraestructuras —carreteras, almacenes, regadíos, electrificación, por ejemplo— que beneficiarían a los agricultores.

Cuánto cabe esperar del desarrollo agrícola quedó de manifiesto hace muchos años en Corea del Sur, Taiwán, India y otros varios países asiáticos, durante la llamada revolución verde. Las innovaciones implantadas a lo largo de los años sesenta y setenta del siglo pasado por el Grupo de Asesoría en Investigación Agrícola Internacional y por otras organizaciones nacionales colaboradoras fructificaron en impresionantes aumentos de las cosechas de arroz y de trigo, redujeron los costes de pro-

ducción, rebajaron los precios, proporcionaron mayores rentas a los pequeños agricultores y, en definitiva, impidieron la catástrofe de una hambruna inminente.

Entre las medidas de política agraria necesarias para arrancar de la miseria a los campesinos de los países en vías de desarrollo se hallan las que garanticen la disponibilidad de tierras y recursos agrarios (fertilizantes, semillas mejoradas y protección de los cultivos frente a las plagas). También son esenciales las inversiones en infraestructura rural: vías de comunicación, electricidad, silos y regadíos. No lo es menos que se pueda contar con instituciones de crédito y ahorro. Dado que será crucial el buen funcionamiento de los mercados donde se venda la producción y se adquieran los bienes de consumo, los gobiernos han de impedir que los mercados impongan la ley del más fuerte a los pequeños agricultores, a las áreas desfavorecidas (tierras, por ejemplo, con lluvias irregulares y suelos frágiles) y a los consumidores pobres. Los esfuerzos de Brasil bajo el mandato del presidente Luiz Inácio Lula da Silva para dotar de tierras a quienes viven pobremente en medios rurales ejemplifican un programa acertado, a pesar de sus limitaciones. En China, el fomento de empresas rurales de pequeña escala, que suministren bienes y servicios a las familias campesinas, así como de las agroindustrias (por ejemplo, de procesado de alimentos) establecidas en el campo, que crean empleo y añaden valor a los productos agrícolas, han desempeñado un papel de primer orden en la reducción de la pobreza y el hambre.

Muchas de las medidas contra la pobreza, en especial las tendentes a mejorar la sanidad y la educación, resultarán beneficiosas tanto para los pobres que residen en las ciudades como para la población rural, un aspecto importante, porque la miseria urbana va cada vez a más. La experiencia previa hace ver que las medidas más eficaces son las centradas en combatir las muy generales deficiencias en micronutrientes, en reducir la contaminación de los alimentos y las enfermedades consiguientes, y todo ello, en conjunción con acciones orientadas a proporcionar educación primaria universal a los niños de ambos sexos. Las iniciativas políticas y los cambios en las costumbres que promuevan la igualdad entre ambos sexos poseen un valor extraordinario, pues las mujeres constituyen un eslabón crítico en el bienestar de los hogares. También la asesoría en la planificación familiar y la atención a la salud reproductiva son piezas clave para lograr soluciones, pero han de hacerse de una manera que sea compatible con la cultura de cada lugar.

Entre los ejemplos de programas eficaces se cuenta PROGRESA, que ha mejorado el acceso a la educación, a la sanidad, a las aguas potables, al saneamiento y a la puericultura en México, y el programa Alimentos por Enseñanza, que ha aumentado la asistencia a la escuela y aliviado el hambre entre la población infantil de Bangladesh.

LOS PELIGROS DE LA DESNUTRICION INFANTIL

La desnutrición es la causa determinante de más de la mitad de los 12 millones anuales de muertes de niños que no alcanzan a cumplir los cinco años.

Todos los años, son casi 500.000 los niños que se quedan total o parcialmente ciegos por carencias en vitamina A.

La deficiencia en yodo constituye, por sí sola, la más importante entre las causas evitables de lesiones cerebrales en los niños.

—FAO

GRADO DE CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO DEFINIDO EN LA CUMBRE MUNDIAL DE LA ALIMENTACION (CMA)

MUNDIAL
Seres humanos subnutridos (en millones)
1000
800
600
400
200
824
797
815
794
Previsión
Valor real
Objetivo de la CMA
412
1990–92
1995–97
2000–02
2015

CHINA
200
150
100
50
0
194
146
142
97
63
1990–92
1995–97
2000–02
2015



La Cumbre Mundial de la Alimentación (CMA) de 1996 se comprometió a que en 2015 el número de hambrientos del mundo se redujese a la mitad. Pero transcurridos diez años apenas ha variado el número total (*gráfico de la izquierda*). Felizmente, China, que es todavía un país en vías de desarrollo, ha realizado enormes progresos (*gráfico de la derecha*). En 2005 se había convertido en el tercer donante de alimentos del mundo. En la fotografía, un operario chino apresta ayudas para las víctimas de un terremoto en Pakistán.

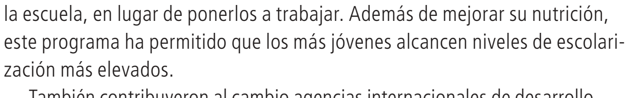
AP Photo (fotógrafo); MELISSA THOMAS; FUENTE: ESTUDIO MUNDIAL DE LA ALIMENTACION (*gráficas*)

COMBATIR EL HAMBRE EN VARIOS FRENTES

Bangladesh, en otro tiempo oprimida por el hambre y dependiente de la importación de alimentos, no sólo produce ahora suficiente arroz para el consumo interno, sino que exporta también productos agrícolas; su producto nacional bruto sigue creciendo. Según ha señalado Gordon West, que perteneció a la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional, tal cambio ha sido fruto de varias sabias intervenciones.

Gran parte de esta transición ha sido promovida por la posibilidad de cultivar arroz durante la estación seca. En otro tiempo, casi toda la producción de arroz de aquel país dependía de las lluvias monzónicas. Entonces, instituciones públicas de investigación agraria desarrollaron y distribuyeron variedades de arroz que crecen con vigor en tiempo más fresco y que necesitan menos horas de insolación diaria. En 2002, aproximadamente la mitad de la producción de ese país se producía en meses secos.

Otro importante acicate para el cambio fue la implantación por el gobierno de una política de importaciones más flexible. En consecuencia, comerciantes particulares empezaron a importar alimentos en los momentos en los que la producción propia no era suficiente. El gobierno también se empeñó más en que la distribución de alimentos llegara a los más pobres. Se puso en práctica, por ejemplo, un programa de “alimentos por enseñanza”: se proporcionan alimentos a las familias pobres para que sus hijos asistan a



la escuela, en lugar de ponerlos a trabajar. Además de mejorar su nutrición, este programa ha permitido que los más jóvenes alcancen niveles de escolarización más elevados.

También contribuyeron al cambio agencias internacionales de desarrollo que financiaron la construcción de carreteras, crearon empleos y mejoraron el acceso durante todo el año no sólo a los mercados, sino también a servicios básicos. Otras agencias —señaladamente, CARE y World Vision— proporcionaron empleo a hombres y mujeres en las áreas de máxima precariedad alimentaria del país. Además de construir carreteras bien planificadas, ecológicas y utilizables todo el año, los participantes reforestan la zona para impedir la erosión del suelo. Las mujeres pobres encuentran empleo adicional en el cuidado de los árboles. En una línea similar, el Programa Mundial de Alimentos de Naciones Unidas pagó con alimentos a quienes trabajaron para restaurar recursos comunales importantes, como carreteras, albercas para peces y diques y canalizaciones que les protegieran de las riadas.

Aunque los cambios acontecidos en Bangladesh han sido impresionantes, subsisten problemas enormes. Las tasas de malnutrición figuran entre las más elevadas del mundo. Dado que la dieta de muchos bangladesíes es deficiente en grasas, minerales y vitaminas esenciales, el país ha de generalizar lo antes posible la disponibilidad de trigo, frutas, leche, legumbres y carnes.





HORTALIZAS EN UN MERCADO LOCAL. La adición de carne y leche a estos productos reforzaría la nutrición. Los niños de la foto de la derecha hacen gimnasia en una escuela que participa en el programa de alimentos por enseñanza.

FARJANA K. GODHULY *Getty Images (izquierda)*; IFPRI *(derecha)*

Los desarrollos técnicos en las ciencias biológicas, en la producción y distribución de energía, así como en las comunicaciones, crean nuevas oportunidades laborales, que podrían beneficiar a los pobres y, de ese modo, aliviar el hambre. Por ejemplo, en China e India, la aprobación gubernamental de la semilla de algodón Bt, modificada genéticamente, cuyas plantas son resistentes al ataque de ciertos insectos, como la oruga del algodón, ha revertido en ganancias importantes para millones de pequeños cultivadores. [Sin embargo, el alto coste de las semillas puede crear graves problemas a los campesinos si proliferan insectos inmunes a la toxina del Bt o si la propia oruga desarrolla resistencia.] Son necesarias inversiones públicas en investigación y en técnica para el desarrollo de otras innovaciones. Agricultores y consumidores deberían participar en la fijación de prioridades para esa investigación.

El buen gobierno, que entre otras cosas consiste en el imperio de la ley, la transparencia en las decisiones, la ausencia de corrupción, la prevención o resolución de conflictos, la administración prudente de los recursos públicos y el respeto y la protección de los derechos humanos, resulta de crítica importancia para garantizar que se dispondrá de alimentos. Zimbabwe, que en un breve período pasó de ser un país con alimentación asegurada a padecer una hambruna general, pone de manifiesto lo que puede ocurrir por falta de buen gobierno. Aunque la responsabilidad primera corresponde a los gobiernos nacionales, la sociedad civil, representada por grupos locales y las ONG, puede asimismo ayudar a los más desfavorecidos.

Ya en el plano internacional, políticos e instituciones tienen que esforzarse mucho más por orientar la globalización en beneficio de los pobres. Los países industriales deberían

PRIMAS DE ASISTENCIA A ESCUELAS Y SERVICIOS MEDICOS

Hace veinte años, en México, la creciente pobreza de ese país se traducía en que alrededor del 30 por ciento de sus habitantes no tenía lo suficiente para comer. La desnutrición es causa de mala salud, que merma la capacidad de aprendizaje, lo que engendra más pobreza, con la subsiguiente desnutrición. Un ejemplo de programa que ha funcionado bien es un plan innovador llevado a cabo por el gobierno mexicano. En lugar de subsidiar las tortillas —como había estado haciendo, lo que sólo proporcionaba un alivio temporal del hambre—, el gobierno empezó a pagar directamente a las mujeres si éstas emprendían ciertas acciones.

El programa, llamado PROGRESA (hoy renombrado Oportunidades), proporciona pagos mensuales en efectivo, de hasta unos 50 euros, por cada niño de los grados tres a nueve que asista regularmente a la escuela, y concede cantidades superiores por quienes alcancen grados posteriores y por las niñas. Cada familia recibe también transferencias mensuales de unos 10 euros si los miembros de la familia, y de modo especial las mujeres y los niños, se someten anualmente a un determinado número de revisiones médicas.

Es posible que el rasgo más original del programa estribe en la canalización de fondos hacia las mujeres. Esta capacidad económica podría proporcionarles más voz en la adopción de decisiones en el hogar, lo cual podría a su vez revertir en que fueran más los recursos de la familia dedicados a la alimentación y la educación de los hijos.

Los logros del plan reflejan ya mejoras en estas dos áreas. En las familias participantes se ha observado un aumento de un 16 por ciento en los índices de crecimiento anual en los niños de uno a tres años de edad y una reducción de casi el 25 por ciento en las enfermedades de los niños de menos de cinco años. La matrícula en escuelas secundarias se elevó desde el 67 al 75 por ciento para las niñas y del 73 al 78 por ciento en los chicos, lo que abre esperanzas de mejores resultados todavía cuando una generación mejor instruida funde sus propias familias.



ESTA MUJER ESTA COBRANDO LA SUBVENCION que un programa mexicano de ayuda a familias rurales pobres aporta si éstas envían a sus hijos a la escuela y les hacen pasar controles médicos regulares.





HENRY ROMERO *Reuters (arriba)*; MARCO UGARTE *AP Photo (izquierda)*; TED SPIEGEL *Corbis (derecha)*

acelerar la apertura de sus mercados y la Organización Mundial de Comercio habría de cooperar estrechamente con la sociedad civil y los gobiernos nacionales para suprimir las barreras que dificultan el tránsito de trabajadores por las fronteras, distorsionan los precios, imponen injustos derechos de propiedad intelectual y asfixian la competencia. Tanto Estados Unidos como Japón y la Unión Europea han erigido barreras comerciales contra la importación de alimentos y bienes agrícolas producidos por campesinos pobres de países en vías de desarrollo. Al mismo tiempo, presionan a estos países para que abran sus mercados a los productos de las naciones industriales, entre ellos bienes agrícolas fuertemente subvencionados. Tales prácticas no sólo son hipócritas: echan por tierra los esfuerzos por reducir el hambre.

Las ayudas al desarrollo tendrían que elevarse desde el 0,3 por ciento de los productos nacionales brutos de los países donantes hasta el 0,7 por ciento que los países ricos han prometido reiteradamente desde que por vez primera aceptaron este compromiso, plasmado en una resolución de las Naciones Unidas en 1970. Las negociaciones en curso para aliviar la deuda de los países en vías de desarrollo tendrían que ir más deprisa.

Una victoria en la batalla contra el hambre no sólo beneficiaría a quienes la sufren. Todos ganaríamos. Un pueblo famélico mal podrá ser un buen socio comercial; el hambre, además, contribuye a la inestabilidad transnacional. Incluso en un mundo hipotético gobernado por individuos ciegamente egoístas y sobrados de alimentos, la erradicación del hambre daría frutos excelentes. El mundo cuenta con los recursos y conocimientos necesarios para vencer en esta batalla. Lo que no se ha demostrado todavía es que exista la voluntad de hacerlo.

Bibliografía complementaria

CONSULTATIVE GROUP ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH, que es una alianza de centros agrícolas y otras organizaciones para movilizar la ciencia en favor de los pobres: **www.cgiar.org**

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO): **www.fao.org**

INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE: **www.ifpri.org**

AGRICULTURA TRANSGENICA

Una nueva revolución verde basada en cultivos modificados genéticamente podría reducir la pobreza y el hambre, pero sólo con el apoyo de las instituciones implicadas

Terri Raney y Prabhu Pingali

CONCEPTOS BASICOS

- Los cultivos transgénicos pueden aumentar los beneficios de los campesinos de países en vías de desarrollo y reducir el precio de los alimentos para los consumidores pobres, pero no son una panacea.
- A diferencia de la revolución verde del siglo XX, que se desarrolló en centros de investigación públicos que divulgaron sus hallazgos por todo el mundo, la "revolución genética" actual está dirigida por compañías privadas multinacionales.
- Los beneficios de la biotecnología en el mundo subdesarrollado dependerán de factores institucionales (protección de la propiedad intelectual, normativa ambiental y de seguridad alimentaria), así como del desarrollo de cultivos transgénicos adaptados a las condiciones locales de cada país.

La población que sufre hambre en todo el mundo es persistentemente numerosa. En 1960, alrededor de 1000 millones de personas padecían desnutrición; esta noche todavía se acostarán hambrientos unos 850 millones. Con todo, el progreso conseguido en la erradicación del hambre ha sido más notable de lo que estas dos cifras podrían sugerir: en la actualidad, alrededor de 5600 millones de personas se alimentan de forma satisfactoria, comparado con los 2000 millones de hace medio siglo.

Las técnicas agrícolas modernas han constituido la clave de tan espectacular aumento. El desarrollo y la distribución de semillas mejoradas y las aportaciones externas (abonos y riego) para maximizar la producción dieron lugar a la "revolución verde" del siglo XX. La mejora vegetal y el cruzamiento de variedades originaron híbridos con rasgos agronómicos de interés que aumentaron la productividad y los beneficios de las explotaciones agrarias, lo que provocó un descenso del precio de los alimentos.

Nos hallamos ahora ante una "revolución genética" incipiente. En los últimos decenios, se han desarrollado y refinado técnicas para el trasplante de genes específicos desde un organismo hasta otro, que han dado lugar a variedades con rasgos nuevos de gran valor. Por botón de muestra, la transferencia al algodón, al maíz y a otras plantas, de un gen de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, origina las variedades denominadas Bt, que presentan una resistencia natural a los coleópteros barrenadores. De modo similar, se ha creado soja tolerante a los herbicidas, el arroz dorado (más nutritivo, con alto contenido en betacaroteno) y otros cultivos de calidad superior.

Los cultivos transgénicos se están extendiendo con mayor prontitud que cualquier otra técnica agrícola en la historia, a pesar de la controversia abierta en torno a sus riesgos, a saber, la contaminación genética, la aparición de plagas resistentes y el daño a la salud de los consumidores. Los EE.UU. y Canadá producen la mayor parte de los cultivos transgénicos (el 60 por ciento del área cultivada); los países en vías de desarrollo contribuyeron a un 38 por ciento de los mismos en 2006, casi todos ellos en Argentina, Brasil, la India y China.

Por mucho que las variedades transgénicas prometan una reducción del hambre mediante la maximización de la productividad, deben ofrecer ventajas económicas a los campesinos pobres, pues éstos las cultivarán sólo si conllevan un aumento de las ganancias. Estudios recientes han demostrado que los agricultores de los países en vías de desarrollo se han beneficiado del cultivo de las variedades transgénicas: el aumento de la producción y la reducción del gasto en plaguicidas han compensado con creces el mayor coste de las semillas transgénicas. En algunos casos, las explotaciones agrarias pequeñas han obtenido (en términos relativos)

un beneficio mayor que las explotaciones de mayor extensión; ello desmiente la opinión generalizada de que los cultivos transgénicos ayudan sólo a los latifundios, que sacan provecho de la economía de escala. Los datos contradicen también el temor de que las multinacionales biotecnológicas estén apoderándose de todas las ganancias económicas originadas por los cultivos transgénicos. Antes bien, consumidores y campesinos comparten los beneficios con las empresas.

Los estudios revelaron, sin embargo, que el rendimiento divergía enormemente de un país a otro y entre regiones de una misma nación. Tan importantes como las ventajas que aporta la técnica son los factores institucionales: la capacidad de investigación agronómica de una nación, el funcionamiento de sus mercados de entrada (la distribución de semillas, por ejemplo) y el marco político (la normativa ambiental, la seguridad alimentaria y los derechos de propiedad intelectual relacionados con el comercio). Sólo si se superan los obstáculos institucionales, los cultivos transgénicos desarrollarán su potencial de mejorar el sustento de los campesinos de los países en vías desarrollo.



Además de aumentar la producción de alimentos y reducir la pobreza, los cultivos transgénicos atenuarían algunos problemas ambientales causados por la agricultura intensiva. Las variedades Bt, por ejemplo, limitan el uso de plaguicidas que dañan a especies no destinatarias del producto, como las abejas. Los cultivos tolerantes a los herbicidas permiten utilizar una menor cantidad de los productos más tóxicos, aunque con un aumento global de los herbicidas de menor toxicidad; estas variedades promueven, asimismo, la adopción de prácticas agrícolas con un labrado mínimo o nulo, lo que reduce la erosión del suelo, así como la alteración de su estructura y de sus comunidades microbianas. En palabras de Gordon Conway, del Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido, los cultivos transgénicos desencadenarían una revolución "doblemente verde".

La técnica resulta básica

Tratar de erradicar la pobreza y el hambre mediante el desarrollo de la agricultura y la técnica se considera una estrategia desfasada. Los críticos argumentan, acertadamente, que

LA OBESIDAD SE EXTIENDE POR EL MUNDO

En veintidós países, industrializados (*azul*) y en vías de desarrollo (*marrón*), se cultivan variedades transgénicas. El mapa inferior presenta una selección de datos sobre el desarrollo y la producción comercial de cultivos transgénicos en los países subdesarrollados, que sigue avanzando.

PRINCIPALES CULTIVOS TRANSGENICOS EN EL MUNDO EN VIAS DE DESARROLLO

- **Soja:** Argentina, Brasil, Paraguay
- **Maíz:** Argentina, Sudáfrica
- **Algodón:** China, India, Argentina, Sudáfrica

IRAN
- El único país que ha aprobado el cultivo comercial del arroz Bt (resistente a insectos)

CHINA
- A punto de aprobar el arroz Bt para su cultivo comercial
- El único país en vías de desarrollo donde se cultivan variedades transgénicas (algodón resistente a insectos) desarrolladas con dinero público, al margen del sector privado internacional

FILIPINAS
- Las pruebas de campo del arroz dorado adaptado a las condiciones locales comenzarán de inmediato

ARGENTINA
- El aumento de la producción de soja se atribuye a la rentabilidad de las variedades transgénicas

AFRICA ORIENTAL
- El virus del estriado del maíz es endémico

AFRICA EN GENERAL
- Ya se pueden obtener variedades no transgénicas de alimentos básicos: sorgo, garbanzo, mandioca, mijo perla, guisante de Angola y cacahuete

SUDAFRICA
- Primer país en vías de desarrollo con cultivos transgénicos de alimentos básicos (2001, maíz blanco Bt)
- Investigadores de la universidad desarrollaron el maíz resistente al virus del estriado del maíz
- Se están llevando a cabo estudios preliminares para desarrollar un maíz tolerante a la sequía, portador de genes de plantas africanas autóctonas

BANGLADESH, CHINA, INDIA, INDONESIA, FILIPINAS, SUDAFRICA, VIETNAM
- Los institutos de investigación trabajan con Syngenta para desarrollar variedades localmente adaptadas de arroz dorado

INDIA
- Los investigadores de la India han creado variedades transgénicas de berenjena, maíz, guisante de Angola, mostaza, tomate, arroz, quingombó, col y coliflor. En la actualidad se realizan los primeros ensayos de campo a pequeña escala

La mayoría de los cultivos transgénicos se encuentran en los EE.UU. (*abajo izquierda*). Desde 2000, éstos se han extendido con mayor prontitud en los países en vías de desarrollo que en los países industrializados (*abajo centro*). Un número reducido de cultivos y tipos de modificación dan cuenta de casi toda la producción (*derecha*).

LOS PRINCIPALES CULTIVADORES

Superficie de cultivos transgénicos por país (2006)

- **54%** EE.UU.
- **18%** Argentina
- **11%** Brasil
- **6%** Canadá
- **4%** India
- **3%** China
- **2%** Paraguay
- **1%** Sudáfrica
- **1%** Otros

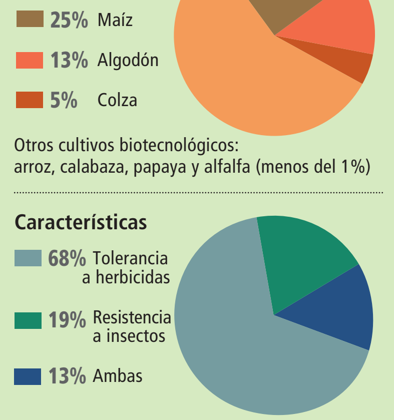
AUMENTO RAPIDO DE LAS VARIEDADES TRANSGENICAS

Millones de hectáreas cultivadas

Total · Industrializados · Subdesarrollados

Eje vertical: 0, 25, 50, 75, 100 — Eje horizontal: 1995, 2000, 2005

TIPOS DE CULTIVOS (2006)



DANIELA NAOMI MOLNAR; FUENTE: *GLOBAL STATUS OF COMMERCIALIZED BIOTECH/GM CROPS*; ISAAA BRIEFS 35; 2006 (*gráficos*); GEORGE RETSECK (*mapa*)

la producción mundial de alimentos es suficiente para satisfacer las necesidades de todas las personas; lo que se necesita es un acceso a los alimentos más equitativo para la población pobre. Sin embargo, de esa observación razonable extraen una conclusión errónea: que los avances técnicos son poco importantes, si no contraproducentes, en la lucha contra la pobreza y el hambre. Los datos demuestran que están en lo falso. La innovación técnica en la agricultura es necesaria —aunque no suficiente— para lograr un desarrollo económico sostenible y mitigar la pobreza en los países subdesarrollados.

La agricultura constituye el impulso fundamental del desarrollo económico en las sociedades agrarias. Las técnicas que desencadenaron la revolución verde aportaron enormes beneficios al campesinado pobre. Las variedades modernas de trigo, arroz y maíz llegaron al alcance de los millones de campesinos del mundo en vías de desarrollo, primero de Asia e Iberoamérica, y, más adelante, aunque en menor grado, de Africa. Mediante el incremento de la productividad, la revolución verde aumentó los ingresos de las explotaciones agrarias y bajó el precio de los alimentos, que se volvieron más asequibles para los pobres. Ese ciclo virtuoso (aumento de la productividad, mejora del nivel de vida y desarrollo económico sostenible) ha sacado de la pobreza a millones de personas.

La revolución genética, sin embargo, presenta ciertas particularidades que dificultan el acceso de los agricultores pobres a los cultivos transgénicos. A diferencia de la revolución verde, que se desarrolló sobre todo merced a la labor de investigadores del sector público (mediante proyectos nacionales e internacionales), la investigación biotecnológica actual se está llevando a cabo, en su mayor parte, en el sector privado. Mientras que las instituciones públicas divulgaron y compartieron libremente las técnicas agrícolas de la última revolución, las multinacionales protegen sus hallazgos mediante patentes, para comercializarlas luego. Ese cambio o desplazamiento de la fuente de la técnica repercute en el tipo de investigación que se está llevando a cabo, la naturaleza de los productos que se están creando y la accesibilidad final para los campesinos pobres.

China es el único país en vías de desarrollo que cultiva variedades transgénicas que no provienen del sector privado internacional. Algunos países subdesarrollados (India, Brasil y Sudáfrica) están llevando a cabo ensayos de campo sobre cultivos transgénicos desarrollados de forma independiente, pero no se aplican a la producción comercial. Pocos países más poseen la infraestructura que se requiere para el desarrollo público de cultivos transgénicos. El Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR, por sus siglas en inglés), una sociedad de países, organizaciones y fundaciones privadas, apoya el trabajo de algunos centros de investigación internacionales que están colaborando con los sistemas nacionales de investigación y el sector privado, sobre cultivos transgénicos para los países subdesarrollados; con todo, se trata de programas limitados y presentan una financiación insuficiente.

La investigación biotecnológica del sector privado se centra en técnicas de rentabilidad elevada, apropiadas para las explotaciones agrícolas de la zona templada de Norteamérica y Europa. Algunos agricultores de países en vías de desarrollo (sobre todo de las zonas templadas de Sudamérica, Sudáfrica y China) se han aprovechado de rebote de los resultados de ese trabajo; muchos otros, en cambio, cultivan la tierra en unas condiciones que requieren soluciones especiales, como ocurre en las regiones tropicales expuestas a la sequía.

Pocos son los programas del sector público o privado que tienen como objetivo los cultivos y los animales de los que dependen los pobres o los problemas particulares a los que éstos se enfrentan: sobre todo, la mejora nutricional y la resistencia de los cultivos a ciertas agresiones (sequía, salinidad, enfermedades y plagas). Se están dejando de lado los cultivos principales para el mundo subdesarrollado (arroz y trigo), así como diversos cultivos "huérfanos" (sorgo, mijo perla, guisante de Angola, garbanzo y cacahuete). A pesar de tratarse de alimentos básicos para algunas regiones, se han pasado por alto en los programas de investigación agronómica tradicional.

Investigación para los pobres

A pesar de que sus recursos se empequeñecen al lado de los proyectos dirigidos a mercados más lucrativos, expertos en numerosos países están investigando estrategias transgénicas para salir al paso de las necesidades de los campesinos de los países en vías de desarrollo. Joel Cohen, del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias, examinó en 2003 las líneas de investigación en el sector público de 15 países en vías de desarrollo. Encontró 201 transformaciones genéticas en 45 cultivos: cereales, verduras y hortalizas, raíces y tubérculos, plantas oleaginosas, azúcar y algodón.

El cultivo alimenticio de mayor importancia en el mundo subdesarrollado es, con gran diferencia, el arroz. De ahí que se estén desarrollando algunas variedades transgénicas de ese cereal; mencionemos el arroz Bt resistente a insectos y el arroz dorado.

SUPERAR LOS OBSTACULOS INSTITUCIONALES

Los países en vías de desarrollo deberían llevar a cabo sus propios programas de mejora vegetal para adaptar a las variedades de cultivos locales las técnicas transgénicas importadas.

Los países necesitan adoptar procedimientos reguladores con base científica, transparentes y fiables para la seguridad y la eficacia de los cultivos transgénicos.

Las compañías y las autoridades reguladoras deberían divulgar los resultados de sus ensayos sobre seguridad para minimizar la duplicación innecesaria de las pruebas en otra parte.

La armonización y el reconocimiento mutuo de los procedimientos de reglamentación a escala regional y global contribuiría a reducir la duplicación innecesaria y el gasto.

En la protección de los derechos de propiedad intelectual (DPI) debe tenerse en cuenta el equilibrio entre las necesidades de los agentes del desarrollo técnico y de los usuarios (agricultores). Entre las distintas posibilidades se incluyen las cámaras de compensación de DPI y las plataformas de intercambio tecnológico de libre acceso (por ejemplo, www.bios.net).

Los estudios de campo en China indican que el arroz Bt puede ayudar de varias maneras a los pequeños agricultores. Con el arroz Bt se reduce la necesidad de plaguicidas químicos, merced a la resistencia que esta variedad presenta frente a algunas de las plagas principales. Al controlar mejor las plagas, los agricultores obtienen rendimientos superiores a un coste menor. Asimismo, sufren una menor exposición a los productos químicos (los campesinos chinos utilizan vaporizadores de mochila con poca o ninguna protección; sufren por ello un índice elevado de intoxicación por insecticidas). También es probable que se produzca una mejora ambiental por el menor uso de insecticidas de amplio espectro, que eliminan a un gran número de insectos, amén de las plagas a las que se dirigen.

Irán es, hasta la fecha, el único país que ha aprobado el cultivo comercial de arroz Bt, con cerca de 5000 hectáreas en el año 2006. China está a punto de autorizarlo, pero el proceso se ha frenado por la preocupación de la posible pérdida de exportaciones a las naciones que no aceptan cultivos transgénicos.

El arroz dorado constituye quizás el cultivo transgénico desarrollado para combatir la desnutrición mejor conocido. El producto se ha concebido para tratar la deficiencia en vitamina A, que se cobra 3000 vidas cada día y causa medio millón de casos de ceguera infantil al año. Para muchas de esas personas, el arroz pulido (blanco), que no contiene betacaroteno (el cuerpo humano convierte el betacaroteno en vitamina A), representa hasta el 80 por ciento del consumo calórico diario.

La primera generación de arroz dorado contenía un gen del narciso y otro de una bacteria del suelo (*Erwinia uredovora*), que conjuntamente producen betacaroteno en el cereal. Desarrollado en el año 2000 por Ingo Potrykus, del Instituto Politécnico Federal Suizo en Zúrich, Peter Beyer, de la Universidad de Friburgo, y una red de organizaciones académicas y humanitarias, el arroz dorado inicial fue desacreditado por considerarse una solución técnica a un problema causado por la pobreza y la exclusión social. Los críticos argumentaron también que el arroz dorado favorecía la dependencia de un solo alimento frente a la diversificación de la dieta. Defendían que habría sido mejor invertir el dinero gastado en el desarrollo del arroz dorado en conseguir para la gente una alimentación equilibrada en cereales, frutas, verduras y proteínas. Por supuesto, gran parte de la población más pobre del mundo no puede permitirse tales comidas; el arroz dorado se propone llegar a esas personas.

UNA EMINENCIA DE LA BIOTECNOLOGIA

Jennifer Thomson, de la Universidad de Ciudad del Cabo, defiende con firmeza los cultivos transgénicos por su potencial en la mitigación del hambre y la pobreza en Africa. Además de liderar un grupo que desarrolla variedades de maíz transgénico adaptado a las condiciones africanas, ha contribuido a la elaboración de normativas sobre organismos transgénicos; preside la Fundación para la Tecnología Agraria en Africa (AATF, por sus siglas en inglés).

El grupo de Thomson ha dedicado 12 años a la obtención de maíz resistente al virus del estriado del maíz, endémico en el Africa oriental. Diseñaron en el laboratorio líneas de maíz resistente; los ensayaron luego, con éxito, en invernadero. Las líneas de laboratorio son más fáciles de modificar genéticamente que las plantas normales, pero sus otras características las incapacitan para la agricultura. Por ello han otorgado la licencia de la técnica de resistencia al virus a Pannar Seed International, en KwaZulu-Natal, que trabaja en la comercialización del producto. Esta compañía ha transferido la resistencia a líneas comercialmente viables, con resultados excelentes.

Thomson se propone también obtener un maíz tolerante a la sequía mediante genes de la planta de la resurrección (*Xerophyta viscosa*), que se recupera tras sufrir un 95 por ciento de deshidratación. Esa investigación a largo plazo se encuentra en fase inicial. No han determinado todavía qué genes deben transferirse. Estudian los genes de forma independiente para ensayar luego su efecto combinado.





LA "PLANTA DE LA RESURRECCION" se recupera completamente (*arriba*) tras sufrir un 95 por ciento de deshidratación (*abajo*).

CORTESIA DE JENNIFER THOMSON

En opinión de Thomson, resulta fundamental que los países en vías de desarrollo lleven a cabo su propia investigación biotecnológica, sin olvidar la adaptación de las técnicas creadas por el sector privado. A las multinacionales no suelen importarles los cultivos que interesan a Africa. Para las regiones occidentales del continente reviste importancia la judía de vaca; pero, ¿qué multinacional se fijaría en esa planta? La AATF transfiere a Africa la propiedad intelectual sobre biotecnología agraria de las multinacionales. Hace poco se ha logrado la transferencia de la judía de vaca resistente a insectos. A través de la AATF, las multinacionales aportan una gran ayuda a Africa.

Con todo, Thomson ha rechazado el dinero de las multinacionales para su propia investigación, con el fin de mantener la técnica en manos del dominio público. Durante muchos años el proyecto sobre el virus del estriado del maíz ha sido financiado en buena parte por la Fundación Claude Léon, una fundación filantrópica que entendió que el maíz resistente al virus mejoraría la supervivencia de los africanos. Cabe destacar también la contribución reciente, económica y de otro tipo (ensayos de las plantas desarrolladas por el grupo de Thomson), de Pannar. La investigadora declara que no desea que nadie provoque un aumento del precio de su maíz. —*Graham P. Collins*

Los detractores señalaron también que una porción normal de arroz dorado contenía sólo una fracción reducida del aporte nutricional recomendado (ANR) de betacaroteno. Los científicos de Syngenta desarrollaron entonces el arroz dorado de segunda generación, o "Golden Rice 2", mediante la sustitución del gen del narciso por el gen equivalente del maíz. Tal modificación aumentaba unas 20 veces el contenido de betacaroteno. Alrededor de 140 gramos del arroz proporcionaban a un niño un ANR de betacaroteno. En los hogares que dependen del arroz para su sustento, la ración de un niño suele ser de unos 60 gramos; éste podría comer varias raciones al día.

Syngenta, miembro de la Junta Humanitaria del Arroz Dorado, obtuvo licencias gratuitas de 32 empresas e instituciones académicas para el uso humanitario de las patentes necesarias para producir el arroz dorado. La compañía está trabajando con centros de investigación públicos de Bangladesh, China, India, Indonesia, Filipinas, Sudáfrica y Vietnam para desarrollar variedades de arroz dorado adaptadas localmente. Una vez que se hayan ensayado las variedades y obtenido la aprobación de las autoridades locales, la Junta las distribuirá de forma gratuita a los agricultores con ingresos inferiores a 10.000 dólares anuales; se les permitirá conservar y reutilizar la semilla de una cosecha a la siguiente. Sin embargo, en muchos países candidatos no pueden desarrollarse y ensayarse las variedades adaptadas localmente porque carecen de los procedimientos de bioseguridad que exige la convención internacional sobre biodiversidad.

Existen todavía cuestiones por resolver. Debe demostrarse aún la seguridad ambiental y alimentaria del arroz dorado. Además, son necesarios ensayos en humanos para determinar la biodisponibilidad del betacaroteno en el cuerpo. También deben verificarse los efectos de la conservación y la cocción del arroz. No está claro cómo reaccionarán los consumidores a la variedad dorada, sobre todo en las culturas que prefieren el arroz blanco. Se espera el comienzo inmediato de los ensayos de campo en Asia. Nadie supone que el arroz dorado ponga fin a la desnutrición, pero constituiría una estrategia complementaria rentable.

Datos económicos

El éxito o fracaso de los cultivos transgénicos dependerá del beneficio económico que los agricultores obtengan con ellos. Aunque la investigación del sector privado se adapte a las condiciones de un país en vías de desarrollo, el acceso a la técnica puede ser costoso. Los casos opuestos del algodón Bt resistente a los insectos y la soja tolerante a los herbicidas en Argentina revelan el modo en que el alto precio de las patentes obstaculiza el progreso. Monsanto, que desarrolló ambos cultivos, patentó en Argentina el nuevo algodón, pero no pudo hacer lo mismo con las variedades de soja. Esa patente ha permitido a la compañía vender su semilla de algodón Bt más cara que la semilla de algodón al uso. En consecuencia, el algodón transgénico ofrece escasos beneficios a los agricultores argentinos, que no lo han adoptado de forma generalizada.

La soja transgénica, en cambio, al ser sus semillas más baratas —ya que Monsanto no ha logrado patentarlas—, sí goza de buena aceptación entre el campesinado argentino. En promedio, la productividad aumentó un 10 por ciento en las explotaciones agrarias donde se introdujo; los agricultores recibieron nueve décimas partes de las ganancias. Globalmente, los campesinos perciben sólo alrededor del 13 por ciento de los beneficios obtenidos con las sojas transgénicas, los consumidores un 53 por ciento (por el descenso del precio de los alimentos) y las empresas de semillas y biotecnología un 34 por ciento.

Los economistas han atribuido al bajo coste de las variedades transgénicas la transformación del cultivo de la soja en Argentina, sin olvidar el aumento de la producción de soja, la adopción generalizada de la agricultura de conservación (sin labrado) y la rotación de la soja con el maíz. La agricultura de conservación, en la que se dejan los residuos de la cosecha en su sitio en vez de incorporarlos al suelo con el labrado, protege el suelo contra la erosión y la compactación y favorece la acumulación de materia orgánica. La agricultura de conservación resulta más práctica en los cultivos tolerantes a los herbicidas, ya que éstos permiten a los agricultores controlar las malas hierbas mediante herbicidas, sin necesidad de labrar.

Con todo, la experiencia argentina con la soja no ofrece un buen modelo para facilitar el acceso a los avances biotecnológicos. La protección de los derechos de la propiedad intelectual (con patentes u otros medios) supone un incentivo para los agentes del desarrollo técnico; dicha protección ha contribuido en gran medida al crecimiento de la investigación agrícola privada (aunque no necesariamente en Argentina, ya que el sector privado trae al país las técnicas desarrolladas en EE.UU. y Europa). A pesar de ello, las redes públicas internacionales creadas para compartir la técnica entre países se utilizan cada vez menos. La necesidad urgente hoy en día radica en la creación de

CULTIVOS TRANSGENICOS CLAVE

La soja tolerante a herbicidas cubre la mayor parte de la superficie de cultivos transgénicos en todo el mundo, con la inclusión de las explotaciones principales en Sudamérica.

El maíz es un alimento básico en algunos países en vías de desarrollo; se utiliza también como pienso. A veces se cultiva en rotación con la soja.

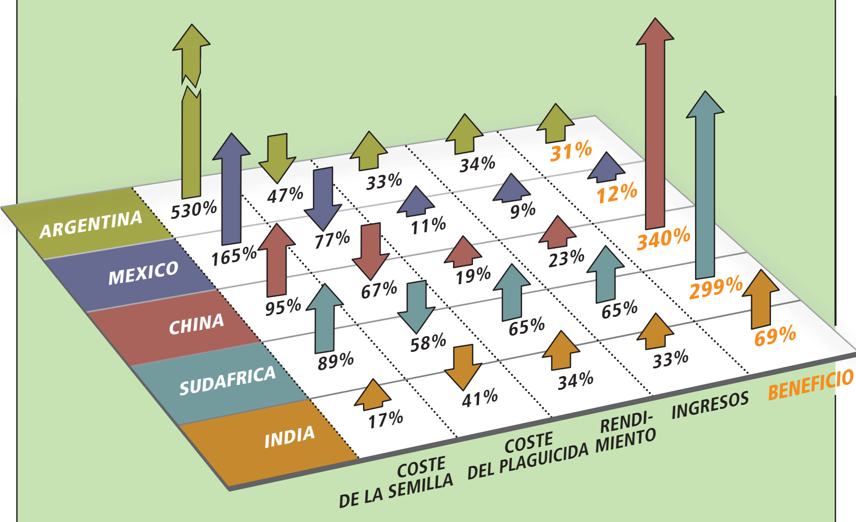
El arroz constituye el alimento básico principal en una parte extensa del mundo subdesarrollado; sin embargo, apenas puede hablarse de cultivos comerciales de arroz transgénico.

Los cultivos huérfanos (el sorgo, el mijo perla, el guisante de Angola y otros alimentos regionales básicos) no han merecido la atención de la biotecnología ni los programas de investigación agrícola tradicionales.

ENVISION/CORBIS (*soja*); ED YOUNG *Corbis* (*maíz*); KIEFER/PHOTOCUISINE/CORBIS (*arroz*)

LA VENTAJA DE LOS TRANSGENICOS

La experiencia de los agricultores de algodón en cinco países en vías de desarrollo demuestra que, aunque los costes de las semillas de una variedad transgénica sean superiores a los de las semillas al uso, el menor gasto en plaguicidas y el aumento de la producción y los ingresos convierten los cultivos transgénicos en más rentables. No obstante, los beneficios varían mucho de un país a otro. En Argentina, los costes de la semilla transgénica restaron una parte sustancial de las ganancias del agricultor. En China, la competencia de semillas modificadas localmente (con dinero público) no dejó subir el precio de las semillas patentadas; los agricultores de ese país se beneficiaron de la reducción del uso de plaguicidas. México consiguió sólo aumentos parciales del rendimiento económico. Además (no se refleja en esta gráfica), en muchas regiones de México sólo unos pocos campesinos adoptaron el cultivo del algodón transgénico por culpa de su ineficacia frente a especies de insectos que suelen amenazar la cosecha.



JEN CHRISTIANSEN; FUENTE: "ECONOMIC IMPACT OF TRANSGENIC CROPS IN DEVELOPING COUNTRIES", POR TERRI RANEY, EN *CURRENT OPINION IN BIOTECHNOLOGY*, VOL. 17, N.º 2, PAGS. 174-178; ABRIL DE 2006

Bibliografía complementaria

Agricultural Biotechnology: Meeting the Needs of the Poor? The State of Food and Agriculture 2003-2004. FAO; 2004.

Poorer Nations Turn to Publicly Developed GM Crops. Joel Cohen en *Nature Biotechnology*, vol. 23, n.º 1, págs. 27-33; enero, 2005.

From the Green Revolution to the Gene Revolution: How Will the Poor Fare? Prabhu Pingali y Terri Raney. ESA Working Paper n.º 05-09. FAO; noviembre, 2005.

Economic Impact of Transgenic Crops in Developing Countries. Terri Raney en *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 17, n.º 2, págs. 174-178; abril, 2006.

un sistema de flujos técnicos que preserve los incentivos para la innovación del sector privado y al propio tiempo resuelva las exigencias del campesinado del mundo subdesarrollado.

De lo contrario, deberá seguirse el ejemplo de China. El éxito de ese país radica en la labor de su sistema público de investigación agronómica, que ha obtenido —al margen del sector privado— cultivos resistentes a insectos mediante un gen de la judía de vaca o judía carilla (*Vigna unguiculata*). Han incorporado el gen a múltiples variedades de algodón adaptadas localmente que compiten con el algodón Bt de Monsanto. En consecuencia, los precios de las semillas transgénicas son más bajos en China que en cualquier otro lugar y los agricultores obtienen beneficios mayores. En términos de productividad, beneficios económicos, equidad y sostenibilidad, los 7,5 millones de pequeños agricultores chinos que cultivan algodón resistente a insectos representan el mayor éxito de la agricultura transgénica del mundo en vías de desarrollo. El papel del sector público en el desarrollo y distribución de las variedades de algodón chinas ha contribuido de forma decisiva a la consecución de ese éxito.

A diferencia de otros países, en China el cultivo de algodón transgénico no supone un gran aumento de las cosechas respecto al algodón estándar, ya que éste se protege de las plagas mediante el uso intenso de plaguicidas. Aun así, los agricultores chinos obtienen beneficios netos notables, porque esa producción sólo ligeramente superior va acompañada de unos costes inferiores en plaguicidas y unos costes sólo un poco mayores en semillas. La reducción del uso de plaguicidas en el cultivo del algodón representa otra mejora para el medio y la salud del campesino.

Un análisis realizado en 2003 por Carl Pray, de la Universidad de Rutgers, y Jikun Huang, del Centro para la Política Agraria China, llegaba a la conclusión de que los beneficios del algodón transgénico en China favorecían a los pobres: las explotaciones agrícolas de menor tamaño experimentaron los mayores aumentos de producción; las de tamaño medio lograron las mayores reducciones en los costes totales como resultado de un uso reducido de plaguicidas. En términos de ingresos netos, el porcentaje de ganancias de las explotaciones de tamaño medio y pequeño fueron más del doble de las explotaciones de extensión mayor.

Nuestra insistencia en el algodón puede parecer inapropiada en un artículo sobre la reducción del hambre, pero se justifica porque los estudios científicos publicados hasta la fecha sobre la adopción de cultivos transgénicos en países en vías de desarrollo se han referido al algodón resistente a insectos introducido en Argentina, China, India, México y Sudáfrica. Por lo que respecta a los alimentos, las investigaciones se concentran en la soja y el maíz en Argentina y el maíz en Sudáfrica.

Con todo, los datos sobre los cultivos de algodón revisten el máximo interés, ya que han aportado conocimientos sobre la economía de la modificación genética que podrán aplicarse a los cultivos alimenticios. Además, el algodón por sí solo mejora la seguridad alimentaria de buena parte de la población: no sólo aumenta los ingresos de los agricultores de algodón, sino también los de muchas otras personas puesto que éstos emplean a un mayor número de trabajadores y compran más productos y servicios rurales.

Sudáfrica proporciona otro ejemplo importante sobre el papel de las instituciones. Ese país posee explotaciones comerciales grandes y modernas, que funcionan junto a explotaciones de semisubsistencia pertenecientes a pequeños agricultores. El algodón resistente a insectos y el maíz amarillo (usado sobre todo como pienso) se introdujeron en 1998; en 2001 Sudáfrica se convirtió en el primer país en vías de desarrollo que cultivó un alimento básico modificado genéticamente (maíz blanco).

Respecto al algodón, existen dos estudios sobre pequeños agricultores de la zona de

PELIGROS POTENCIALES

La oposición a los cultivos transgénicos por consumidores y grupos ambientalistas, subsecuente a las inquietudes sobre la seguridad alimentaria y los daños del entorno, amenaza con frustrar los esfuerzos para atenuar la pobreza y el hambre. El problema se agrava en los países en vías de desarrollo, que a menudo carecen de la capacidad para formular y aplicar sus propios procedimientos de reglamentación. Los protocolos internacionales no permiten introducir o desarrollar organismos transgénicos en los países sin procedimientos de reglamentación adecuados.

Las preocupaciones principales sobre la seguridad alimentaria se refieren a la posible presencia de alergenos o toxinas y otros cambios no intencionados en la composición del alimento. Sin embargo, hasta la fecha, en ninguna parte del mundo se han descrito efectos tóxicos o nutricionalmente nocivos debidos al consumo de alimentos transgénicos. Las autoridades nacionales sobre seguridad alimentaria de diversos países han evaluado los cultivos transgénicos que se comercializan en la actualidad, así como los alimentos derivados de los mismos, mediante procedimientos basados en principios acordados internacionalmente. Han considerado que todos ellos son aptos para el consumo.

Las inquietudes ambientales se centran en la propagación de los transgenes a cultivos de la misma familia o a malas hierbas ("contaminación génica"), la aparición de malas hierbas resistentes a herbicidas, el desarrollo de plagas de insectos resistentes a la toxina Bt (que desde hace tiempo se utiliza como plaguicida, sobre todo en la agricultura ecológica), el daño que los cultivos resistentes a insectos causan en los organismos no destinatarios y los efectos ambientales indirectos, derivados de las prácticas agrícolas que implican los cultivos transgénicos.



ACTIVISTAS en Ciudad de México protestan por la falta de información en el etiquetado de los productos con harina de maíz que contienen maíz transgénico.

Los expertos están en desacuerdo con la probabilidad y las consecuencias potenciales de esos peligros. Se reconoce que la contaminación génica es posible cuando las variedades transgénicas se cultivan cerca de plantas de la misma familia, pero los transgenes persistirán y se propagarán sólo si ofrecen a la planta receptora una ventaja competitiva. Esa contaminación génica infligiría un daño económico, por ejemplo, si provocara que un producto perdiera la calificación de "ecológico". El debate sobre las condiciones necesarias para que se produzca un daño ecológico genera mayor controversia.

Sin embargo, por ahora no se ha observado en las explotaciones agrarias comerciales ninguno de los principales peligros ambientales asociados a los cultivos transgénicos. Se han detectado malas hierbas resistentes a herbicidas —aunque no necesariamente a causa de los cultivos transgénicos—, que se controlan mediante la aplicación de otros herbicidas. Está claro que la ausencia de impactos negativos no niega que pudieran presentarse. Aunque el conocimiento científico sobre los procesos ecológicos y la seguridad alimentaria es incompleto, muchos de los riesgos destacados para los cultivos transgénicos guardan semejanza con los riesgos inherentes a la agricultura tradicional. Debe continuar la evaluación detallada, caso por caso, de los nuevos cultivos (en especial los obtenidos mediante técnicas novedosas, como la modificación de transgenes múltiples), con el fin de minimizar la posible aparición de problemas.

Makhathini Flats, en la provincia de KwaZulu Natal. Los resultados indican que la introducción de cultivos transgénicos supuso un beneficio económico para los campesinos. Una cooperativa local les proporcionó la semilla en crédito, junto con asesoramiento técnico. Las ventajas alcanzaron a todos los tipos de explotaciones. Ambos estudios señalan ganancias para los pobres. El uso de plaguicidas cayó, lo que supuso una mejora para el medio y para la salud humana: los casos de quemaduras y enfermedades por plaguicidas tratados en los hospitales locales descendieron desde unos 150 entre 1998 y 1999, cuando la introducción de cultivos transgénicos era muy limitada, hasta alrededor de una docena entre 2001 y 2002, cuando dichos cultivos se habían extendido.

Sin embargo, la feliz historia de Makhathini Flats no duró mucho. La cooperativa local dirigía también la única desmotadora de algodón de la zona, con la que lograba un alto índice de recuperación de la deuda. Cuando se abrió en la región otra desmotadora de algodón, la cooperativa dejó de asegurarse el reembolso de sus deudas; entre 2002 y 2003 cesó de suministrar las semillas transgénicas a crédito. La producción de algodón en la región descendió drásticamente. Los investigadores concluyeron que las plantas Bt podrían representar una técnica excelente para los países africanos, pero advirtieron que los fracasos institucionales como el de Makhathini Flats suelen ser la norma y no la excepción en Africa.

El ejemplo de Makhathini Flats no reviste interés sólo para Africa. Ninguna técnica puede hacer frente a las deficiencias en infraestructuras, reglamentos, mercados, sistemas de distribución de las semillas y servicios de extensión agraria que obstaculizan el crecimiento de la productividad agrícola, sobre todo la de los agricultores pobres de áreas alejadas. Los cultivos transgénicos deberían considerarse un elemento más dentro de una estrategia más amplia de desarrollo agrario.

La capacidad de los expertos para obtener cultivos transgénicos seguros y eficaces para una revolución genética parece estar asegurada. La duda que le queda a una persona hambrienta de un país en vías de desarrollo es cuánto tiempo deberá esperar hasta que alguien desarrolle semillas aptas para las explotaciones agrícolas de su provincia y que esas semillas resulten asequibles y rentables para los campesinos locales.

ANDREW WINNING *Reuters*

Los autores

Terri Raney pertenece a la Dirección de Economía del Desarrollo Agrícola de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en Roma, y redactora jefe de *The State of Food and Agriculture*, la publicación anual más emblemática de la FAO. Se doctoró en economía agrícola por la Universidad estatal de Oklahoma. Prabhu Pingali se halla al frente de la Dirección de Economía del Desarrollo Agrícola de la FAO. Natural de Hyderabad, en la India, se doctoró en economía por la Universidad estatal de Carolina del Norte. Centra sus estudios en la revolución verde y la introducción de la técnica en la agricultura. (Las opiniones expresadas en este artículo pertenecen a los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la FAO.)

ALIMENTOS CONTAMINADOS

Se están desarrollando nuevas estrategias para garantizar la seguridad alimentaria

Mark Fischetti

CONCEPTOS BASICOS

- Las tramas terroristas, el aumento de las importaciones y la producción centralizada de alimentos están incrementando las posibilidades de que nuestra comida se contamine.
- Sistemas de protección inspirados en técnicas militares pueden mejorar la seguridad de las instalaciones de producción de alimentos.
- Chips microfluídicos, sistemas avanzados de identificación por radiofrecuencia, marcadores comestibles y otras técnicas novedosas detectan la contaminación, facilitan su rastreo y aceleran la retirada de los productos sospechosos de los almacenes y puntos de venta.
- La normativa sobre producción de alimentos debe simplificarse, pero las marcas comerciales habrán de ser más estrictas con sus proveedores, lo que, a la larga, les resultará beneficioso.

En vista de los miles de millones de artículos de alimentación que a diario son envasados, adquiridos y consumidos en Europa y EE.UU., por no hablar del resto del mundo, es muy notable que sean tan pocos los que están contaminados. Pero desde los recientes ataques terroristas, ha ido en aumento la preocupación de los expertos en "defensa alimentaria": temen que extremistas o malhechores traten de envenenar los suministros de alimentos, sea para lograr víctimas mortales, sea para dañar la economía al socavar la confianza pública.

La producción de alimentos está, por otra parte, cada vez más centralizada, lo que acelera la difusión de contaminantes (naturales o introducidos de forma intencionada) en el recorrido que media entre las explotaciones agrarias o las plantas de procesamiento y la mesa de los comensales. Las importaciones, también crecientes, entrañan un riesgo añadido; de ello dan fe las recientes restricciones estadounidenses a pescados y mariscos chinos que contenían restos de fármacos e insecticidas.

¿Es posible evitar la corrupción de lo que comemos? Y si se infiltran en la cadena de suministro toxinas o patógenos, ¿podrán detectarse con rapidez, para limitar el daño a los consumidores? Se puede mejorar la protección del público mediante la implantación de métodos más estrictos en la preparación de alimentos; de fallar éstos, la aplicación de técnicas de inspección más refinadas limitaría, al menos, los daños.

Reforzar la seguridad

El problema de impedir que un terrorista o un empleado rencoroso contamine la leche, los zumos, las hortalizas, la carne u otros alimentos amedrenta a cualquiera. Las vías de aprovisionamiento y preparación de alimentos ("cadena alimentaria") comprenden un dédalo de etapas; prácticamente en todas ellas existen puntos flacos que abren las puertas a cualquiera que pretenda alterar el proceso. David Hennessy, del Centro de Desarrollo Agrícola y Rural de la Universidad estatal de Iowa, advierte que las soluciones universales son poco probables, pues la cadena es distinta para cada artículo. La protección de los productos lácteos no es la misma que la de los zumos, y ésta no se parece en nada a la de la carne de vacuno.

Incluso dentro de una cadena alimentaria determinada, apenas hay lugar para soluciones técnicas rápidas. Las medidas preventivas para impedir la contaminación se reducen, en buena fracción, a reforzar la seguridad de las plantas y de los métodos de procesado en cada una de sus idas y venidas. Frank Busta, director del Centro Nacional de Protección y Defensa Alimentarias en la Universidad de Min-



AARON GOODMAN

nesota, aconseja que cada agricultor, ganadero, manipulador, envasador, transportista, mayorista y vendedor al detalle identifique todos los puntos vulnerables de sus instalaciones y procedimientos, y tapone todos los poros. Tal empeño, que ha de comenzar por los controles rutinarios de acceso a las instalaciones, debe extenderse a una concienzuda selección de los empleados y al muestreo cuidadoso de los productos, en todo momento y en todos los puntos de transferencia.

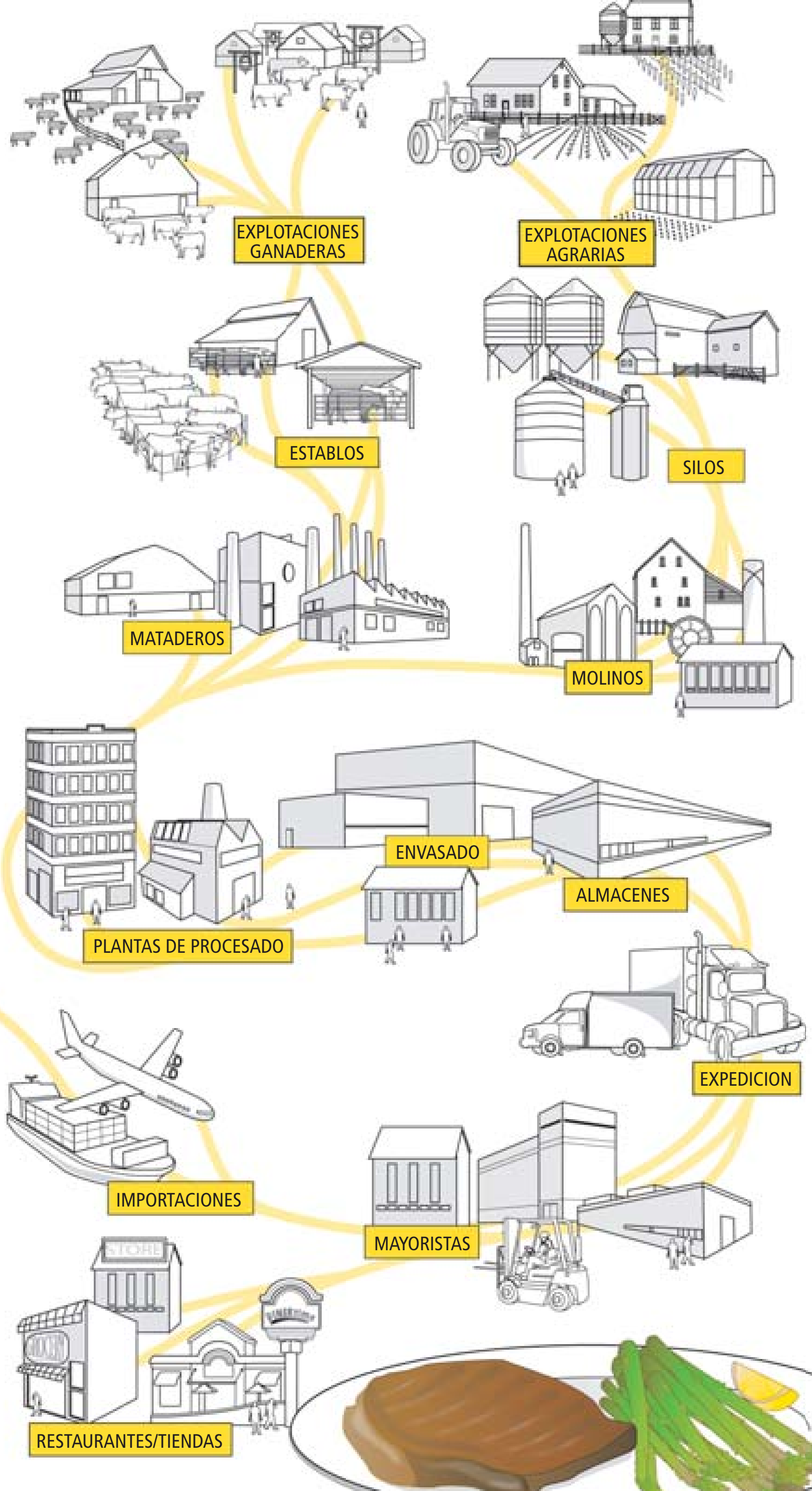
Se trata, sin duda, de un consejo prudente. Pero, ¿cuál es la mejor forma de "impermeabilizar" la cadena alimentaria? Desde hace algunos años se han puesto en servicio varios sistemas de salvaguardia. Aunque no los exige ningún organismo regulador, Busta recomienda vigorosamente a los productores su implantación. Este movimiento se ha intensificado en EE.UU. debido, en parte, al Acta de Bioterrorismo de 2002 y a una directiva presidencial de 2004, que exigen, ambas, un escrutinio más minucioso de los proveedores de materias primas y un control más estricto de los procedimientos de manufactura.

Los sistemas primarios de salvaguardia que Busta recomienda corresponden a la trascripción de otros métodos aplicados por la milicia. El más moderno de tales instrumentos, que la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos (FDA) y el Departamento de Agricultura estadounidenses están promoviendo en la actualidad, lleva el curioso nombre de CARVER+Shock. Proviene de la adaptación de los procedimientos que aplica el Departamento de Defensa a la identificación de los puntos más vulnerables de cada servicio de las fuerzas armadas.

En la opinión de Keith Schneider, del departamento de ciencias alimentarias y nutrición humana de la Universidad de Florida, CARVER+Shock viene a ser una completa auditoría de seguridad. En CARVER+Shock se analiza cada nodo del sistema. Se examinan varios factores: desde la probabilidad de éxito de distintos ataques hasta la magnitud de los efectos que un determinado tipo de infiltración o contaminación provocaría sobre la salud pública, así como su impacto psicológico y económico ("valor de impacto").

Puntos vulnerables por doquier

Son muchos los eslabones de la cadena alimentaria donde pueden multiplicarse los patógenos o donde terroristas o empleados descontentos podrían introducir toxinas. Las contramedidas primarias consisten en reforzar la seguridad y hacer más estrictos los procedimientos de producción en la miríada de plantas de proceso.



LUCY READING-IKKANDA

Rastreo de contaminantes

Por muy estricto que sea el control de los procedimientos, si algún malhechor se lo propone no tardaría en encontrar la forma de introducir patógenos o tóxicos. Y los patógenos naturales, como la salmonela, son siempre motivo de preocupación. Por consiguiente, es de la máxima urgencia que se disponga de capacidad para la detección y el rastreo de tales agentes hasta su punto de introducción, así como para su seguimiento hasta los restaurantes o puntos de venta que finalmente recibieron los productos contaminados. Según Schneider, la implantación de tales sistemas no es de importancia menor que la prevención.

Aquí es donde la técnica desempeña un papel protagonista, pues permite la introducción de sensores de diversos tipos en diferentes puntos de la cadena. Con todo, Ken Lee, del departamento de ciencia y tecnología de los alimentos de la Universidad estatal de Ohio, hace notar que no podemos esperar que una sola técnica neutralice todas las posibles adulteraciones o corrupciones de un alimento dado.

Por ese motivo, se está desarrollando un abanico de dispositivos. Hasta la fecha, sin embargo, son pocos los que se comercializan. Los que más camino llevan andado son las tarjas de identificación por radiofrecuencia (IDRF, o "fichas"); ello se debe, en parte, a que el Departamento de Defensa y la cadena Wal-Mart han exigido a sus principales proveedores de productos alimentarios que adosen estas tarjas a sus palets y cajas de embalaje. Otro tanto ha hecho la cadena de supermercados Metro AG, en Alemania. La solución más ambiciosa se basa en lectores automáticos que inspeccionan las tarjas en cada etapa de la cadena de aprovisionamiento (desde la explotación agraria o ganadera, pasando por la manipulación, el envasado, la expedición y el almacenamiento) y comunican a un registro central la ubicación de cada artículo. De ese modo, de surgir algún problema, los inspectores determinan con prontitud dónde se originó el lote, qué almacenes podrían haber recibido artículos de ese lote y, de ser así, cuándo. Asimismo, los minoristas leerían las tarjas de los artículos de su tienda para asegurarse de que no les haya llegado un producto posteriormente declarado sospechoso.

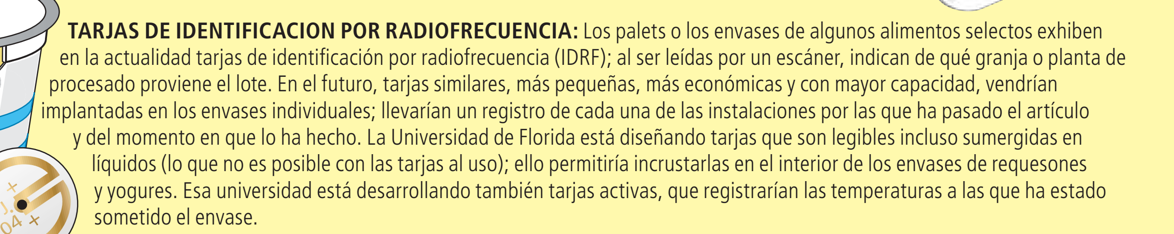
Conforme se vayan reduciendo su tamaño y precio, las tarjas IDRF se irán adosando a los artículos individuales: en cada bolsa de espinacas, tarro de mermelada, caja de langostinos o saco de pienso para perros, por ejemplo. De ese modo, si es preciso retirar un producto del mercado, los artículos se detectarán mediante un escáner, al pasar por caja,

DETECCION, RASTREO, SEGUIMIENTO

En caso de que un patógeno natural o un malhechor contaminasen alimentos, se evitarían desgracias si los productos adulterados se detectaran rápidamente y se rastrearan de inmediato hasta su origen, de manera que todos los lotes se localizaran y fueran retirados del mercado. Las técnicas siguientes, todavía en desarrollo, resultarían de gran utilidad:

DETECTORES MICROFLUIDICOS: La bacteria botulínica produce la más venenosa de las toxinas conocidas. Esas y otras bacterias similares, como la del tétanos, se detectarían durante el procesado de alimentos mediante chips microfluídicos, laboratorios de diagnóstico autónomos del tamaño de un dedo. La Universidad de Wisconsin está desarrollando uno de esos chips: cuenta con un revestimiento de anticuerpos, fijados mediante botones magnéticos; detectaría el botulismo durante el procesado de lácteos. El chip tomaría muestras de leche antes y después de haber sido cargada en los camiones-tanque que salen de las granjas, y también antes y después de la pasteurización en la central lechera. Otros chips detectarían otras toxinas en las plantas de procesado de zumos de frutas, sopas, alimentos para bebés y otros fluidos.

ENVASADO ACTIVO: ***Escherichia coli***, salmonela y otros patógenos se detectarían a través de pequeñas ventanas abiertas en los envases, como el celofán con que se envuelve la carne o la tarrina plástica de la margarina. La ventana "inteligente" contendría anticuerpos que se unirían a enzimas o a metabolitos producidos por el microorganismo, de modo que ésta cambiaría de color en caso de contaminación. El problema estriba en que el material de las ventanas y los reactivos deben poder entrar en contacto con los alimentos. Biosensores similares reaccionarían si el contenido del envase alcanzase un cierto *p*H o estuviera expuesto a temperaturas elevadas, indicando así que el alimento se habría estropeado. Detectarían también una posible manipulación del envase, ya que éste habría reaccionado, por ejemplo, a la presión impuesta por una aguja hipodérmica o al oxígeno que se infiltraría por la perforación de un pinchazo.



TARJAS DE IDENTIFICACION POR RADIOFRECUENCIA: Los palets o los envases de algunos alimentos selectos exhiben en la actualidad tarjas de identificación por radiofrecuencia (IDRF); al ser leídas por un escáner, indican de qué granja o planta de procesado proviene el lote. En el futuro, tarjas similares, más pequeñas, más económicas y con mayor capacidad, vendrían implantadas en los envases individuales; llevarían un registro de cada una de las instalaciones por las que ha pasado el artículo y del momento en que lo ha hecho. La Universidad de Florida está diseñando tarjas que son legibles incluso sumergidas en líquidos (lo que no es posible con las tarjas al uso); ello permitiría incrustarlas en el interior de los envases de requesones y yogures. Esa universidad está desarrollando también tarjas activas, que registrarían las temperaturas a las que ha estado sometido el envase.

TARJAS COMESTIBLES: A menudo, los fabricantes combinan la producción de distintos proveedores en un mismo artículo de venta al por menor (en las bolsas de hojas de espinaca, por ejemplo). Así pues, en caso de contaminación, las tarjas adosadas a las bolsas no servirían para remontarse hasta una fuente concreta. La firma ARmark Authentication Technologies imprime directamente sobre hojas de espinaca, manzanas o bolitas ("pellets") de pienso para perros, unos marcadores microscópicos que indican el punto de origen; utilizan para ello tintas de celulosa, aceite de semillas, proteínas u otras sustancias comestibles. Además, en vista de su diminuto tamaño, la falsificación de los marcadores resultaría prohibitiva para los terroristas; les dificultaría la posibilidad de superar las inspecciones e infiltrar alimentos adulterados o rociados con toxinas. Otra compañía, DataLase, imprime una película comestible sobre cítricos o carnes; crean así un parche de unos 13 milímetros, donde se graban luego mediante un haz de láser los códigos de identificación.

Huerto 132

60 micras

LUCY READING-IKKANDA

explica Jean-Pierre Emond, profesor de ingeniería agrícola y biológica en la Universidad de Florida.

Universidades y empresas están desarrollando todo tipo de indicadores, algunos muy económicos y otros de mayor costo, que proporcionan información más completa. Algunos, por ejemplo, detectan si el alimento ha estado expuesto a temperaturas excesivas y tiene, por ello, mayor probabilidad de albergar *Escherichia coli* o salmonela. Otros marbetes rastrearían cuánto tiempo han empleado los artículos en los tránsitos entre nodos de la cadena de suministro; la detección de demoras excesivas levantaría la sospecha de manipulación o adulteración. Otros dispositivos, los "envases activos", detectarían directamente las contaminaciones y prevendrían a los consumidores para que no ingirieran el producto que tuvieran en las manos.

El gran obstáculo para la implantación de cualquier tipo de marbete o tarja lo constituye, evidentemente, el precio. La colocación de un identificador de IDRF en una caja de lechugas cuesta, en este momento, unos 20 céntimos (de euro). El problema es que esa cifra equivale al lucro que iban a obtener los agricultores con la venta de esas lechugas.

En consecuencia, para que el sistema tenga amplia aceptación debe proporcionar valor adicional a proveedores y compradores. La Universidad de Florida, junto con Publix Super Markets y proveedores de Florida y California, está llevando a cabo una evaluación de las posibilidades de dicha aplicación. En los primeros ensayos, las tarjas siguieron la pista de

ENVENENAMIENTOS DELIBERADOS

EE.UU., 1984.
Salmonela en bares. Responsable: la secta de los Rajneeshee.
751 enfermos

CHINA, 2002.
Raticida en alimentos para el desayuno. Responsable: un competidor comercial.
400 enfermos, más de 40 muertos

EE.UU., 2002.
Sulfato de nicotina en carne picada. Responsable: un operario resentido.
111 enfermos

IMPORTACIONES MAS SEGURAS

Las recientes alarmas sobre productos chinos han mostrado el peligro que entraña la importación de alimentos. El pasado mes de marzo se retiraron en EE.UU. unas 100 marcas de comida para animales de compañía, al comprobarse que contenían melamina, un compuesto tóxico utilizado como sucedáneo barato del gluten de trigo. Al poco, en junio, la FDA hubo de alertar de cinco tipos de marisco y pescado que contenían residuos de antibióticos, insecticidas y salmonela.

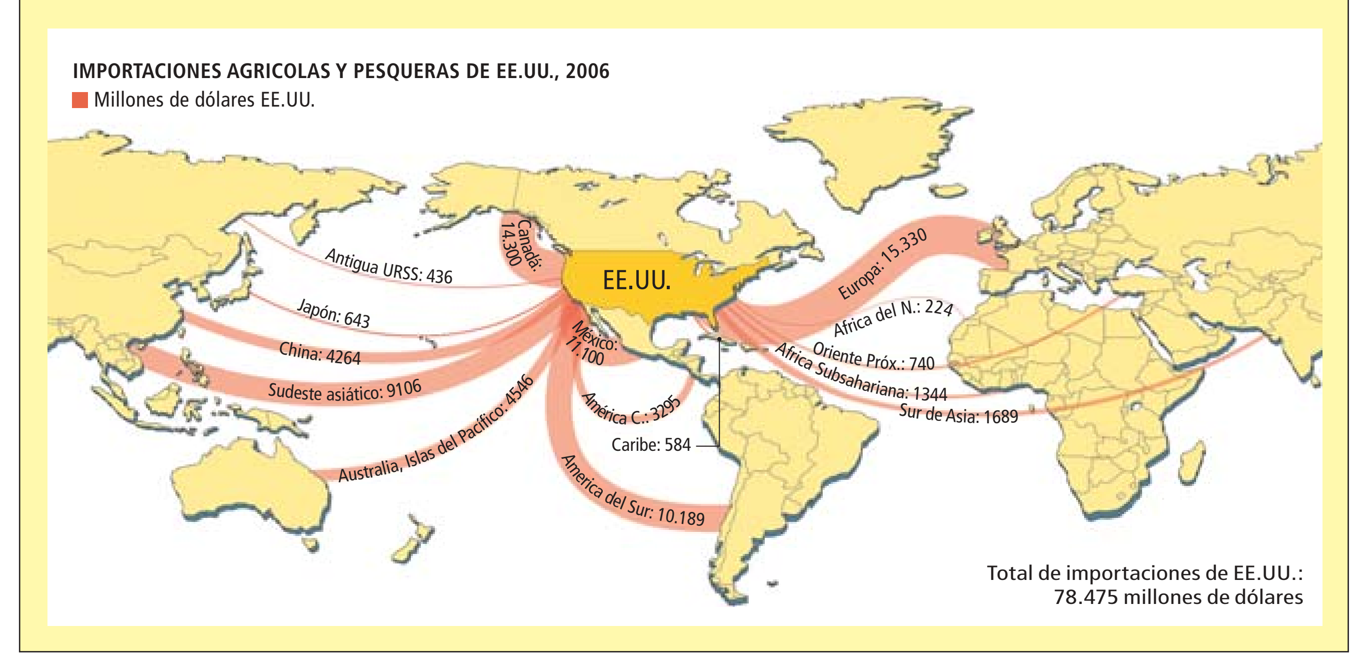
Tras el sobresalto provocado por el caso del marisco, un senador declaró que el gobierno federal debería crear una autoridad suprema, un "zar" que dicte "ukases" sobre las importaciones. Culpó de los controles deficientes a la falta de inspección y de normativa. Declaró al *Washington Post* que ni el gobierno estadounidense ni el gobierno chino estaban haciendo los deberes.

En la opinión de Con Ken Lee, director del departamento de ciencia y tecnología de los alimentos de la Universidad estatal de Ohio, el talón de Aquiles del mercado estadounidense son las importaciones, con independencia de cuán segura sea la producción nacional. No existe un organismo regulador a escala mundial. Si los chinos se proponen adulterar los alimentos, nada se lo impedirá hasta que sean descubiertos.

Siendo realistas, no existe ninguna técnica capaz de garantizar la seguridad de los productos importados. Los alimentos contenidos en cada uno de los contenedores que llegan a EE.UU. a través de sus puertos o puestos fronterizos podrían extraerse e irradiarse (de hecho, las especias y otros productos comestibles ya son procesados de ese modo). Pero la industria objeta que ese paso implicaría un coste notable para los productores y retrasos en la expedición a los intermediarios. Y el público sigue desconfiando de la técnica. Además, aunque la irradiación matara a los patógenos, no tendría efecto alguno sobre los tóxicos o los adulterantes.

La inspección de todos los alimentos que llegan a EE.UU. exigiría, asimismo, aumentos enormes en los presupuestos de la FDA y del Departamento de Agricultura. En la actualidad, sus agencias apenas inspeccionan un 1 por ciento de las importaciones. El pasado junio la FDA propuso una solución intermedia: intensificar la inspección de los productos procedentes de países que a su juicio son laxos en las normativas sanitarias (como China) y reducir, en cambio, las efectuadas a países con normas estrictas (como Canadá y Gran Bretaña). La FDA hizo saber que podría exigir a los importadores y a las empresas estadounidenses que utilizan productos importados que faciliten información más detallada sobre los procesos de producción de sus proveedores extranjeros.

El mejor recurso, según Lee, consistiría en que las compañías exigieran a los proveedores la imposición de normas estrictas y que enviaran inspectores al extranjero para que verificaran el cumplimiento de las mismas. Lo mismo opinan otros expertos, quienes añaden que los edictos gubernamentales son menos eficaces. David Hennessy, profesor de economía de la Universidad estatal de Iowa, explica que, con demasiada frecuencia, las condiciones exigidas a las importaciones se utilizan como barreras comerciales, y van en aumento. Sin embargo, son las propias compañías de alimentación las que más pueden perder. Cuando se surten de un producto en un determinado país, deberían imponer rigor en los procedimientos de trabajo.



GEORGE RETSECK Y LUCY READING-IKKANDA; FUENTE: DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE EE. UU.

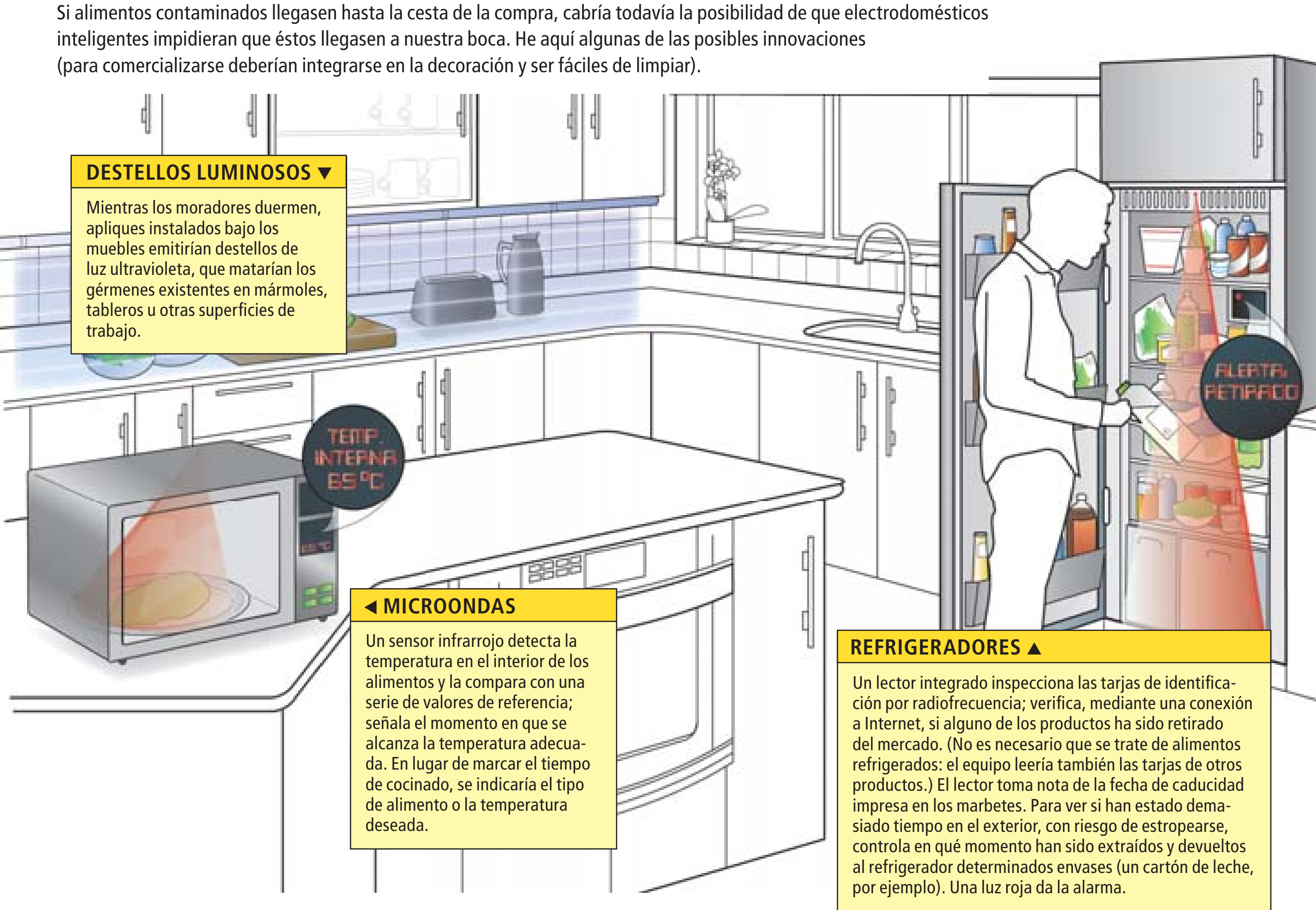
canastas y palets que habían sido transportados desde el campo hasta varios de los centros de distribución de Publix. La información de las tarjas recogida por escáner en distintos puntos quedaba a disposición de todas las compañías por medio de una sede segura de Internet alojada por VeriSign, una conocida firma de seguridad informática. Esa compilación permitió resolver con mayor prontitud los errores en los pedidos, registrar cuánto tiempo estaban inmovilizados los alimentos y buscar formas de aumentar la eficiencia del transporte. El grupo tiene la intención de extender el ensayo a las tiendas minoristas.

Control de los proveedores

Los costos no descenderán hasta que se apliquen de forma generalizada técnicas nuevas, pero los analistas de la defensa alimentaria sostienen que es improbable que tal adopción se produzca en tanto no se promulgue una normativa clara y sin fisuras. Tal perspectiva, a su vez, seguirá *ad calendas grecas* mientras no se reformen altas instancias del gobierno. En este momento existe más de una docena de agencias federales que supervisan algún aspecto de la seguridad alimentaria. Lee señala que, si la simple coordinación entre ellas ya entraña dificultades, conseguir un consenso

La cocina vigilante

Si alimentos contaminados llegasen hasta la cesta de la compra, cabría todavía la posibilidad de que electrodomésticos inteligentes impidieran que éstos llegasen a nuestra boca. He aquí algunas de las posibles innovaciones (para comercializarse deberían integrarse en la decoración y ser fáciles de limpiar).



LUCY READING-IKKANDA

sobre exigencias razonables y prudentes va a resultar más difícil todavía. Jacqueline Fletcher, de la Universidad estatal de Oklahoma, comenta un claro ejemplo de tan paradójica situación: mientras que la normativa sobre pizzas con queso corresponde a la FDA (lo que vendría a ser nuestro Ministerio de Sanidad y Consumo), las pizzas con carne son competencia del Departamento de Agricultura; la normativa para los cultivos varía según sean ecológicos o no.

Espoleados por recientes retiradas del mercado, algunos miembros del Congreso han solicitado la depuración y simplificación del sistema regulador. Un senador de Illinois y una diputada por Connecticut abogan por una sola agencia de seguridad alimentaria, pero las guerras de taifas han anulado todo progreso hacia esa meta.

Viendo que la reforma gubernamental va para largo, los expertos opinan que la mejora de la vigilancia debe ser asumida por los proveedores. Según Shaun Kennedy, director delegado del Centro Nacional de Protección y Defensa Alimentaria, el instrumento más poderoso para detener la adulteración intencionada reside en la inspección de la cadena de suministro. Lo cual entraña que un proveedor con marca registrada, como Dole, o un conglomerado de supermercados de alimentación, como Safeway, deben exigir a las compañías que participan en sus líneas de aprovisionamiento la implantación de los más modernos procedimientos de seguridad, detección, rastreo y seguimiento, so pena de rescisión de contrato.

Las primeras marcas deberían, asimismo, verificar el cumplimiento de sus normas por medio de inspecciones y de otras medidas. El acento se carga en el proveedor con marca, porque es quien más puede perder. Pues si en una bolsa de espinacas Dole o en un cartón de leche Safeway se descubriera una toxina (fuera ésta natural o de creación humana), los consumidores huirían de esa marca concreta. La marca comercial que desee proteger sus productos deberá certificar cada eslabón de la cadena, desde el campo hasta el punto de venta.

Bibliografía complementaria

TERRORIST THREATS TO FOOD. Organización Mundial de Salud, 2002.

ANALYZING A BIOTERROR ATTACK ON THE FOOD SUPPLY: THE CASE OF BOTULINUM TOXIN IN MILK. Lawrence M. Wein y Yifan Liu en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 102, n.º 28, págs. 9984-9989. 12 de julio, 2005.

BIOSECURITY: FOOD PROTECTION AND DEFENSE. Shaun P. Kennedy y Frank F. Busta en *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*, 3ª edición, dirigido por Michael P. Doyle y Larry R. Beuchat. American Society for Microbiology Press, 2007.

GENES, DIETA Y ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES

La nutrigenómica estudia las bases moleculares de la interacción entre la dieta y el genoma. Se propone con ello optimizar las recomendaciones dietéticas y mejorar la salud

Dolores Corella y José M. Ordovás

CONCEPTOS BASICOS

- Las enfermedades cardiovasculares constituyen la primera causa de mortalidad en el mundo. Ello se debe a la transición hacia una dieta opulenta y desequilibrada que se deriva del desarrollo económico.
- En el trastorno cardiovascular interaccionan la susceptibilidad genética del individuo con los factores ambientales (tabaquismo, sedentarismo y dieta).
- Las recomendaciones nutricionales para reducir el riesgo cardiovascular no pueden ser universales. La "dieta ideal" varía de un individuo a otro, pues depende del perfil génico.
- Los autores han llevado a cabo estudios nutrigenómicos sobre la interrelación entre el genoma y la dieta para mejorar la prevención y el tratamiento de los trastornos cardiovasculares.

Las enfermedades cardiovasculares constituyen la primera causa de defunción en el mundo y se prevé que lo sigan siendo, debido al aumento de su prevalencia en los países con menos recursos y al envejecimiento de la población. Los cambios en la dieta resultan cruciales para explicar el escenario epidemiológico. La alimentación determina también la selección evolutiva de los individuos que poseen las variantes genéticas más apropiadas para sobrevivir en un entorno determinado.

El conocimiento de la variabilidad de los genes relacionados con las enfermedades cardiovasculares resulta fundamental para explicar la distinta respuesta fenotípica de cada individuo a la dieta; asimismo, establece las bases que orienten el diseño de dietas personales para una mejor prevención y tratamiento. Surgida de la integración de la biología molecular en la investigación nutricional tradicional, la nutrigenómica designa la nueva disciplina que estudia esas interacciones entre genes y dieta.

Enfermedades cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares son enfermedades del sistema circulatorio, de etiología y localización diversas. Se clasifican en cuatro tipos generales: enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades cerebrovasculares, enfermedades vasculares periféricas y otras enfermedades. Las dos primeras, las de importancia mayor en magnitud, son responsables de más del 60 por ciento de la mortalidad cardiovascular total. Suelen manifestarse como fenómenos agudos. Se deben, sobre todo, a la obstrucción de los vasos, que impide que la sangre fluya hacia el corazón o el cerebro y termina produciendo la muerte.

Las enfermedades vasculares periféricas afectan a las arterias o a las venas que irrigan las piernas y los brazos. Provocan dificultades para la circulación de la sangre y comportan estrechamiento de los vasos, hinchazón y dolor. Pueden causar isquemia. Cuando afectan a las venas se forman coágulos (trombos) que dan lugar a trombosis venosa.

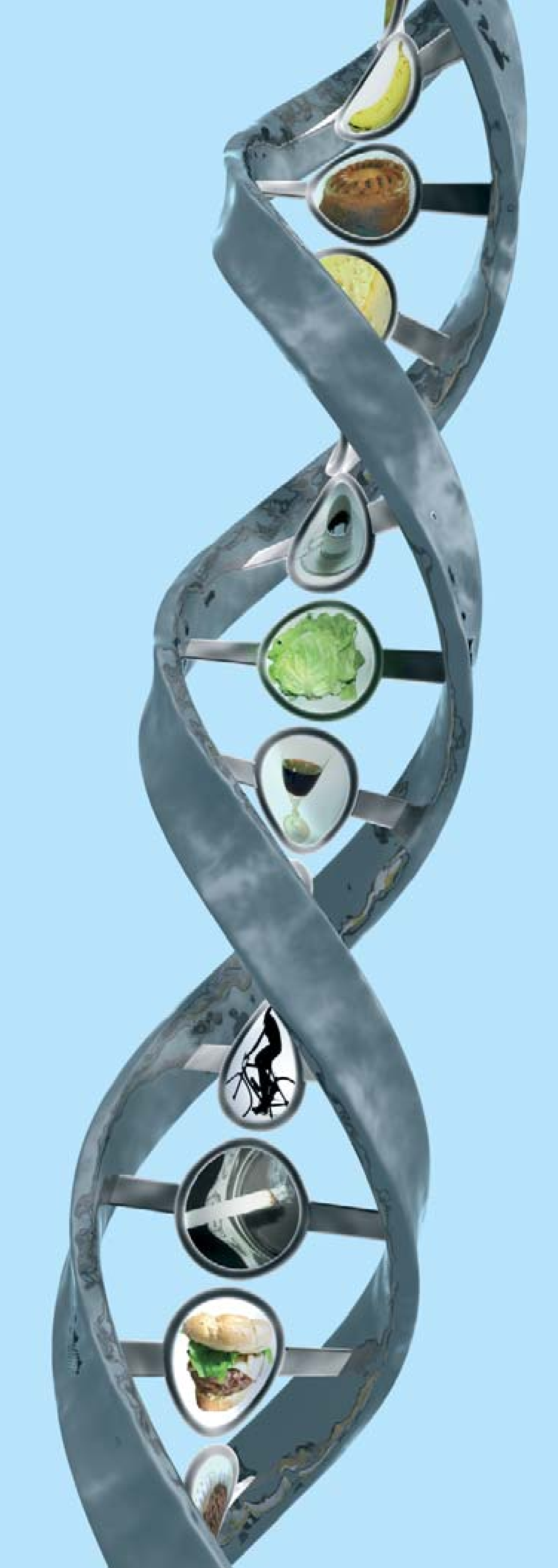
Entre las "otras enfermedades cardiovasculares" destacan las cardiopatías congénitas y la cardiopatía reumática. En la cardiopatía reumática se producen lesiones en el miocardio y en las válvulas del corazón, debidas a infecciones por bacterias del grupo de los estreptococos. Su frecuencia sirve de parámetro del grado de desarrollo de un país. En las naciones con bajo nivel económico y sanitario, la frecuencia de la cardiopatía reumática es mayor que en los más desarrollados, donde se ha conseguido un mayor control de las infecciones.

Dado que las enfermedades cardiovasculares guardan una estrecha relación con los factores socioeconómicos, su prevalencia varía según el momento histórico y el país. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades cardiovasculares constituyen hoy la principal causa de muerte en el mundo. En 2002 fallecieron 16,7 millones de personas por enfermedades cardiovasculares, el 30 por ciento de todas las defunciones. El primer lugar lo ocupó la enfermedad isquémica del corazón (7,2 millones de defunciones), seguida por las cerebrovasculares (5,5 millones). De los dos tipos de enfermedades cerebrovasculares, aunque con algunas variaciones según los países, la isquémica muestra mayor prevalencia; afecta hasta un 75 por ciento de los casos.

En la actualidad, más del 80 por ciento de las defunciones por enfermedades cardiovasculares se producen en los países de ingresos económicos bajos y medios; en los países más desarrollados, en cambio, la mortalidad por dichas enfermedades está descendiendo debido a la mejora de la asistencia sanitaria. En España, en 2004 las enfermedades cardiovasculares fueron todavía la primera causa de defunción: provocaron 123.867 muertes (el 33,3 por ciento del total). La enfermedad isquémica del corazón ocasionó el mayor número de defunciones.

Esas cifras consolidan la tendencia que se venía observando desde 1996, año en el que la mortalidad por cardiopatía isquémica superó la mortalidad cerebrovascular. Ese cambio de patrón se produjo antes en los varones (1987) que en las mujeres. Aunque se está acortando la diferencia, la mortalidad cerebrovascular sigue siendo mayor en las mujeres. Pero las defunciones representan sólo la punta del iceberg: el número de enfermos cardiovasculares (morbilidad) en España es más de 15 veces superior al número de defunciones cardiovasculares. Esa cifra crece cada año, debido al envejecimiento de la población, lo que representa un importantísimo coste socio-sanitario. La OMS estima que en los próximos años la morbilidad y mortalidad cardiovasculares experimentarán un continuo ascenso a escala mundial, por lo menos hasta 2015, año en el que morirán en el mundo cerca de 20 millones de personas por esas enfermedades.

Ante un problema de tal magnitud, los



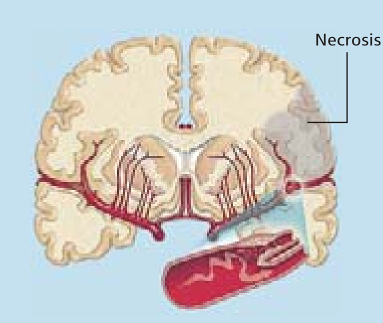
1. GENES Y FACTORES AMBIENTALES (dieta, tabaco, alcohol, actividad física, etcétera) mantienen una estrecha relación a lo largo de toda la vida. La nutrigenómica estudia esas interacciones.

LAS ENFERMEDADES DEL SISTEMA CIRCULATORIO

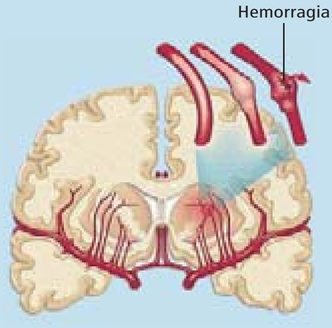
Las enfermedades cardiovasculares corresponden a los trastornos del sistema circulatorio, que incluye el corazón, los vasos sanguíneos y la sangre. El corazón bombea la sangre a través de dos circuitos del sistema vascular (circulación menor o pulmonar y circulación mayor o sistémica). Las arterias parten del corazón y transportan por todo el cuerpo la sangre rica en oxígeno (*rojo*). Las venas transportan hacia el corazón la sangre desoxigenada (*azul*), cuyo oxígeno ha sido ya convertido en dióxido de carbono por los tejidos. Los capilares, de calibre muy fino, facilitan el intercambio entre la sangre y los tejidos. De etiología y localización diversas, los trastornos cardiovasculares se clasifican en cuatro tipos: enfermedades isquémicas del corazón, cerebrovasculares, vasculares periféricas y otras.

ENFERMEDADES CEREBROVASCULARES

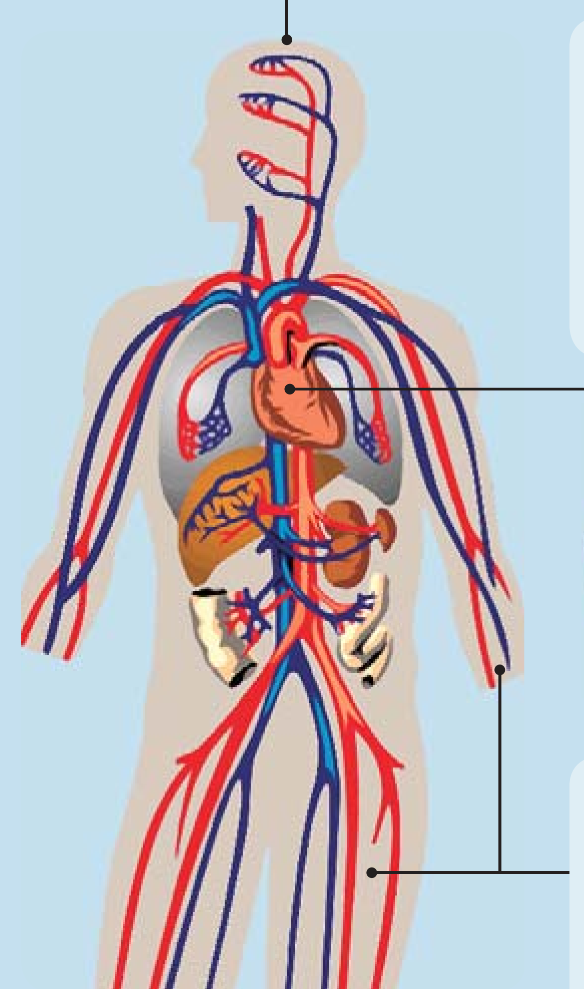
Se deben a las alteraciones de la circulación cerebral. Se clasifican en isquémicas o hemorrágicas. En las isquémicas se produce una disminución del flujo sanguíneo que llega a alguna región del cerebro, lo que produce necrosis tisular por daño neuronal irreversible (infarto cerebral). En las hemorrágicas, existe una extravasación de sangre por rotura de algún vaso.



ENFERMEDAD CEREBROVASCULAR ISQUEMICA

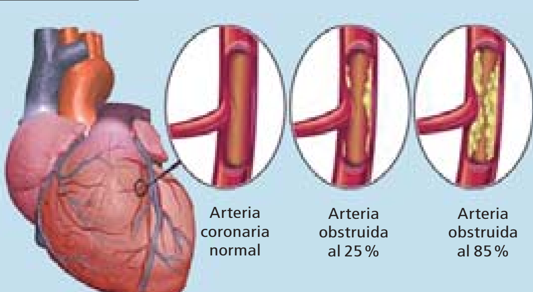


ENFERMEDAD CEREBROVASCULAR HEMORRAGICA



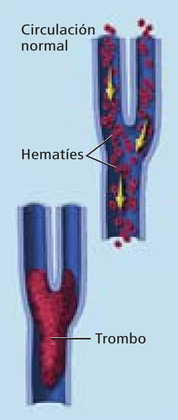
ENFERMEDADES ISQUEMICAS DEL CORAZON

Se deben a un estrechamiento progresivo de la luz de las arterias coronarias, causado por la formación de la placa de ateroma. Ese engrosamiento de la pared arterial consta de una zona central, o núcleo, que contiene colesterol, lípidos, células inflamatorias y productos de desecho, y una cápsula formada por tejido fibroso y células musculares. Hay placas frágiles que se rompen fácilmente y otras más resistentes. La obstrucción total de la arteria provoca la interrupción de la circulación de la sangre o isquemia; si este estado se prolonga, se destruye el tejido cardiaco, que da lugar a la zona de necrosis o infarto.



ENFERMEDADES VASCULARES PERIFERICAS

Trastornos de la circulación en los vasos (arterias o venas) que irrigan las piernas y los brazos. Enlentecen el flujo sanguíneo y provocan estrechamiento de los vasos, hinchazón y dolor. Puede causar isquemia. Cuando afecta a las venas se forman coágulos de sangre, o trombos, que provocan oclusión y dan lugar a trombosis venosa. Si ese trombo se desprende, puede transportarse a los vasos de los pulmones y causar defunción por embolia pulmonar.



DOLORES CORELLA Y JOSE M. ORDOVAS

esfuerzos no deben centrarse sólo en la mejora de los tratamientos, sino también en la prevención. A pesar de la publicación de miles de estudios sobre las causas o factores de riesgo de esas enfermedades, la mayoría de las investigaciones no se han realizado de forma integrada, a partir del análisis conjunto de los factores de riesgo genéticos y ambientales. Las enfermedades cardiovasculares suelen ser complejas: en ellas interaccionan la susceptibilidad genética del individuo con los factores ambientales a los que se halla expuesto a lo largo de la vida, sobre todo, el tabaquismo, el sedentarismo y la dieta.

Fenotipos intermedios y finales

El estudio de la variabilidad genética ha experimentado una gran evolución en los últimos decenios, gracias a un conocimiento más profundo del genoma humano y al avance de la biotecnología. Los estudios sobre epidemiología cardiovascular que iniciamos en nuestro laboratorio hace más de quince años se encuentran ya en la fase de análisis de la interrelación entre susceptibilidad genética individual y los factores ambientales, sobre todo la alimentación.

En nutrigenómica se utilizan dos términos que conviene aclarar: "fenotipos intermedios" y "fenotipos finales" de enfermedad. Los fenotipos finales corresponden al propio evento cardiovascular (isquémico, cardiovascular, etcétera). Los fenotipos intermedios definen el valor de indicadores, marcadores o factores relacionados con la enfermedad cardiovascular que se manifiestan antes que el propio evento cardiovascular; nos aportan información para la prevención.

Los fenotipos intermedios de mayor importancia para los trastornos cardiovasculares son las concentraciones plasmáticas de colesterol total, triglicéridos, colesterol ligado a lipoproteínas de alta densidad (HDL), colesterol ligado a lipoproteínas de baja densidad (LDL), glucosa, insulina, homocisteína, marcadores de inflamación, marcadores de estrés oxidativo, marcadores de coagulación y marcadores de disfunción endotelial. También constituyen fenotipos intermedios las medidas antropométricas de peso, talla, perímetro de la cintura, porcentaje de masa grasa, presión arterial sistólica y diastólica, y espesor arterial.

Para todos esos fenotipos intermedios se han fijado valores de punto de corte que permiten determinar si el paciente se encuentra en una situación de normalidad o fuera de ella. Así por ejemplo, se considerará que un individuo sufre hipercolesterolemia si supera los 200 miligramos de colesterol por decilitro de plasma (mg/dL). Una persona será hipertensa si su presión arterial sistólica o diastólica es superior a 140 mm Hg o 90 mm Hg, respectivamente. Para los marcadores de inflamación y los marcadores de estrés oxidativo, los puntos de corte todavía no se han definido con precisión.

Los fenotipos intermedios cardiovasculares varían en función de la dieta. La concentración sérica de colesterol, por ejemplo, aumenta con el consumo de grasas saturadas (mantequilla, carnes, embutidos, quesos, etcétera). De ahí que la dieta mediterránea (rica en frutas, verduras, cereales, legumbres y aceite de oliva virgen) resulte tan beneficiosa en la prevención de la arteriosclerosis y las enfermedades cardiovasculares.

La hipótesis dieta-lípidos-corazón, avanzada por A. Keys, de la Universidad de Minnesota en Mineapolis, ha prevalecido durante largo tiempo en la investigación cardiovascular; sobre ella se han fundado numerosas recomendaciones nutricionales. Sin embargo, hoy se admite que la relación entre la dieta y las enfermedades cardiovasculares entraña mayor complejidad: no se limita a las grasas y al colesterol, sino que se extiende a todos los componentes alimenticios. Y depende en grado sumo de la susceptibilidad genética individual.

A modo de botón de muestra: hasta ahora se recomendaba que el consumo de grasas poliinsaturadas no superara el 10 por ciento de la energía diaria. Sin embargo, los estudios nutrigenómicos recientes indican que la cantidad recomendada diverge de una persona a otra en función de las variantes génicas relacionadas con el metabolismo de dichas grasas.

Antes de exponer los resultados de estudios nutrigenómicos que ilustran esas particularidades, conviene realizar una mirada retrospectiva a la evolución de la mortalidad por distintas enfermedades, la situación nutricional en cada época y las repercusiones que ello haya podido tener para la selección y prevalencia de determinadas variantes genéticas.

Transición nutricional

La alimentación se encuentra íntimamente ligada a la prevalencia de los trastornos cardiovasculares, bien sea por defecto o por exceso de nutrientes. A lo largo de la historia, se han producido importantes cambios en la incidencia y mortalidad por dichas enfermedades, lo que ha llevado a acuñar las expresiones "transición epidemiológica" y "transición nutricional". El concepto de transición epidemiológica fue propuesto en 1971 por Adbel R. Omran, un epidemiólogo egipcio formado en la Universidad de Columbia. Omran observó que, en varios países europeos, a principios del siglo XIX descendió la mortalidad

INDICADORES PARA LA PREVENCION

Para la prevención de los trastornos cardiovasculares resultan de gran utilidad los fenotipos intermedios. Corresponden a los valores que toman los indicadores, marcadores o factores relacionados con la enfermedad cardiovascular:

PARAMETROS SANGUINEOS

- Colesterol total
- Colesterol-LDL
- Colesterol-HDL
- Triglicéridos
- Homocisteína
- Marcadores de inflamación
- Otros marcadores de aterosclerosis

MEDIDAS ANTROPOMORFICAS

- Presión arterial sistólica y diastólica
- Espesor de las arterias
- Peso
- Talla
- Grasa corporal

COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ALIMENTOS

ACIDOS GRASOS
- **saturados**
  (sin dobles enlaces)
- **monoinsaturados**
  (un doble enlace)
- **poliinsaturados**
  (varios dobles enlaces)
  - omega-3
  - omega-6

CARBOHIDRATOS
FIBRA
PROTEINAS
VITAMINAS
ACIDO FOLICO
MINERALES
POLIFENOLES
FITOSTEROLES
COLESTEROL
FITOESTROGENOS
BASES XANTICAS
- cafeína
- teobromina

CAROTENOIDES
TERPENOS
FLAVONOIDES
CAPSAICINOIDES



COMPONENTES QUE REGULAN LA EXPRESION GENICA

Numerosos componentes de los alimentos participan en la regulación génica.

Los ácidos grasos poliinsaturados regulan la expresión de numerosos factores de transcripción entre los que se encuentran los genes de los receptores activados por el proliferador de peroxisomas.

por enfermedades infecciosas, al tiempo que aumentaba la mortalidad por enfermedades no infecciosas (sobre todo, trastornos cardiovasculares y cáncer).

El momento en el que ocurre la transición epidemiológica varía de un país a otro, pues depende del nivel de desarrollo. Se estima que ya en 1920 las enfermedades crónicas constituyeron la causa principal de defunción en EE.UU.; un poco más tarde, en países del norte de Europa. En la Europa meridional hubo que esperar dos o tres decenios para observar la transición. En España llegó en 1945. En países menos desarrollados, en fechas más recientes.

Dada la influencia de la alimentación en ese cambio de escenario epidemiológico, hablamos también de "transición-nutricional". Nos referimos así a los cambios que tienen lugar cuando el aumento del poder adquisitivo de una población permite sustituir la dieta tradicional por otra más opulenta, de alto contenido calórico. En una primera etapa de esa transición (el paso de la escasez de alimentos y deficiencias nutricionales a una alimentación completa y variada), se producen cambios favorables en el nivel de salud, que contribuyen a una disminución de la mortalidad por enfermedades infecciosas.

Pero si la transición prosigue, nos espera un desequilibrio nocivo (se ingieren dietas excesivamente calóricas con un alto contenido en grasas saturadas y alimentos muy procesados), que contribuye al aumento de las enfermedades cardiovasculares.

Desde el punto de vista adaptativo, los cambios extremos en la dieta favorecen la selección de individuos con variantes génicas que facilitan la supervivencia en las condiciones nutricionales existentes en cada momento. Recordemos que el organismo humano (codificado en sus genes) es el resultado de millones de años de evolución biológica. La etapa preagrícola resultó fundamental para la configuración de nuestro genoma actual, que es el que mejor se adaptó a las modificaciones del medio a las que se enfrentaron nuestros antepasados.

La evolución de los seres vivos ha venido marcada por la selección natural a través del éxito reproductor y la mutación. Los alelos (cada uno de los genes del par que ocupa la misma posición en los cromosomas homólogos) que se retienen en el acervo génico son los que favorecen la supervivencia, el desarrollo y la maduración del individuo hasta la edad reproductora. Así, los humanos poseen una dotación genética que se traduce en una gran eficiencia en la acumulación de grasa durante los períodos de bonanza alimentaria, es decir, una notable facilidad para engordar. Ello favoreció la supervivencia en las condiciones que marcaron la evolución de nuestra especie: escasez crónica de alimentos y un enorme esfuerzo físico invertido en conseguirlos.

El desarrollo de la agricultura transformó los patrones alimentarios de nuestros antepasados. La presión selectiva se relajó. Ello dio cabida a una mayor diversidad de alelos con distinta velocidad de cambio según las condiciones de cada región; de ahí que en la actualidad exista una notable diversidad de prevalencias de las variantes génicas en las distintas poblaciones.

Inspirado en esos antecedentes, James Neel, de la Universidad de Minnesota en Mineapolis, acuñó en 1962 la expresión "genotipo ahorrador" para designar la causa en cuya virtud ciertos grupos étnicos (los nativos de las islas de Polinesia y los indios americanos, por ejemplo) presentaban un índice elevado de obesidad y diabetes en la época actual.

Según la hipótesis de Neel, esas poblaciones se habían dedicado tradicionalmente a la caza y a la pesca; obtenían los alimentos de manera azarosa, como en épocas primitivas. En tales condiciones, se da una elevada mortalidad perinatal e infantil, que selecciona a los individuos que poseen las variantes genéticas más ahorradoras de energía y que sobreviven con el aporte mínimo de nutrientes. Pero en condiciones de abundancia de comida (merced a los cambios en la disponibilidad de alimentos), los genotipos ahorradores dejan de hallarse en armonía con el entorno. Se tornan nocivos: se convierten en promotores de obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares. Ello explicaría por qué la misma cantidad de alimentos consumidos puede resultar letal para algunos individuos (con genotipo ahorrador) y no suponer ningún problema para otros (con un genotipo distinto).

Además de genotipo ahorrador, se utiliza la expresión "fenotipo ahorrador", propuesta en 1992 por C. N. Hales y D. J. Barker, del departamento de bioquímica clínica del Hospital de Addenbrooke en Cambridge. En opinión de esos investigadores, la nutrición fetal y en edad temprana resulta determinante para el riesgo de sufrir diabetes y enfermedades cardiovasculares en edades más avanzadas.

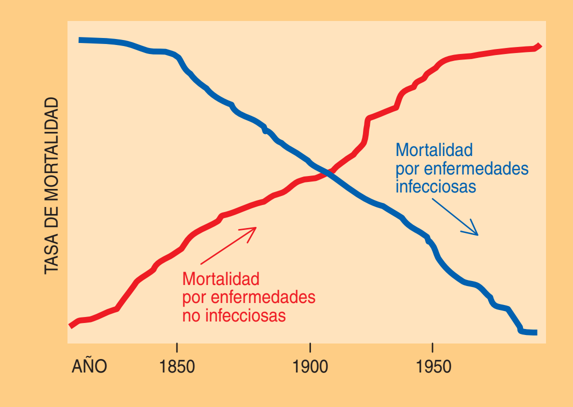
Si un feto crece en condiciones de malnutrición, adoptará varias estrategias en el desarrollo de sus órganos y acometerá cambios metabólicos que maximicen las oportunidades de supervivencia posnatal en condiciones de escasez de alimentos. Sin embargo, esas adaptaciones van en detrimento de la salud si a lo largo de la vida recibe una nutrición adecuada durante un período prolongado, pues incrementan el riesgo de obesidad, dia-

TRANSICION EPIDEMIOLOGICA Y NUTRICIONAL

TRANSICION EPIDEMIOLOGICA

El estudio de las principales causas de mortalidad a lo largo del tiempo en países distintos revela una transición epidemiológica. Se observa una primera etapa en la que la principal causa de mortalidad son las enfermedades infecciosas (*azul*). Sin embargo, esta mortalidad desciende a medida que aumenta el nivel económico y sanitario. Paralelamente, se produce un aumento de la mortalidad por enfermedades no infecciosas (*rojo*), entre las que destacan las cardiovasculares y el cáncer.

El momento y la velocidad a la que se produce la transición epidemiológica dependen de las características socioeconómicas de cada país, pudiendo diferir varios decenios. Se trata de un fenómeno ligado a los estilos de vida, sobre todo, a la alimentación.



PODER ADQUISITIVO

DIETA POBRE
Desnutrición
Riesgo de infecciones elevado

DIETA EQUILIBRADA
Nutrición adecuada
Riesgo de infecciones bajo

DIETA OPULENTA
Sobrealimentación
Obesidad, diabetes, riesgo cardiovascular

TRANSICION NUTRICIONAL

Cuando el aumento del poder adquisitivo de una población permite sustituir la dieta tradicional por otra más rica y variada, se produce una transición nutricional.

La primera etapa conlleva cambios saludables, que contribuyen a una disminución de la mortalidad por enfermedades infecciosas. Pero si la transición prosigue hacia una dieta opulenta y de alto contenido calórico, se produce un desequilibrio nocivo que contribuye al aumento de las enfermedades cardiovasculares.

betes, hipertensión e hipercolesterolemia. Ello explicaría, en parte, el aumento exponencial de la prevalencia de diabetes y enfermedades cardiovasculares que están experimentando varios países asiáticos, donde se ha pasado de la escasez a la abundancia de alimentos, sin solución de continuidad.

También apoyan la hipótesis del "fenotipo ahorrador" los resultados de un estudio llevado a cabo en el Centro Médico Académico de Amsterdam con individuos que se hallaban en el útero materno durante la "Hambruna del Invierno Holandés" ocurrida en el oeste de Holanda a finales de la Segunda Guerra Mundial (desde noviembre de 1944 hasta mayo de 1945). Llegados a la edad adulta, estas personas, hombres y mujeres, mostraban una intolerancia a la glucosa y un riesgo cardiovascular mayores que la población control con la que se compararon. Además, esa alteración metabólica era mayor en los individuos que habían estado expuestos a la hambruna durante el primer trimestre del embarazo.

Las hipótesis del genotipo ahorrador y el fenotipo ahorrador ilustran que una misma dieta no ejerce el mismo efecto sobre el fenotipo cardiovascular de personas distintas. Importa, pues, conocer mejor las particularidades de cada individuo a la hora de realizar recomendaciones nutricionales para mejorar la prevención cardiovascular. Impulsada por esa necesidad, nacía a finales del siglo pasado la nutrigenómica o genómica nutricional, cuyo avance ha ido de la mano del Proyecto Genoma Humano.

Variantes de un mismo gen

Culminado el Proyecto Genoma Humano en abril de 2003, se entró en la nueva era de la nutrición molecular, o nutrigenómica. El proyecto Genoma y las investigaciones paralelas han permitido secuenciar el ADN humano, localizar los genes en los cromosomas y estudiar la variabilidad o susceptibilidad genética individual a escala molecular.

Las variantes genéticas más estudiadas son los polimorfismos de un solo nucleótido o SNP (de "single nucleotide polymorphism"). Se han descrito más de seis millones de SNP en el genoma. Suelen abordarse agrupados en bloques con elevado desequilibrio de ligamiento o haplotipos. (Existe equilibrio de ligamiento cuando se produce, en los gametos, una asociación aleatoria de genes distintos; si

la asociación no ocurre al azar, nos hallamos en situación de desequilibrio.)

Otras veces se analiza un solo SNP de todo el haplotipo, el SNP marcador ("tag" SNP), para abaratar costes. Existen distintas estrategias para la selección de esos marcadores; al desarrollo de las mismas ha contribuido el proyecto de colaboración internacional HapMap, iniciado en 2002 con el objetivo de construir mapas de haplotipos del genoma humano.

Se estima que, en promedio, una persona difiere de otra en su secuencia de ADN cada 1200 bases, siendo esta variación la responsable de las diferencias fenotípicas interindividuales.

En un estudio nutrigenómico, se eligen en primer lugar los genes cuya variación puede resultar crucial para la función de una proteína y, por consiguiente, para las rutas metabólicas en las que ésta participa. En la secuencia de los genes "candidatos", se acotan las zonas donde un determinado cambio de base pueda alterar la acción proteínica; se analiza la presencia o no de dicha variación en el ADN de cada individuo. (El ADN se obtiene de una muestra de sangre o saliva. El análisis genético para detectar dichas variaciones es rápido y asequible.)

Sea por caso el gen de la 5-10-metilentetrahidrofolato reductasa (MTHFR), enzima que cataliza la reducción del 5,10 metileno tetrahidrofolato (THF) a 5-metilTHF (forma primaria de folato sérico, cosustrato para la remetilación de homocisteína a metionina). Si falla la enzima, se produce un incremento de homocisteína en la sangre, con el consiguiente aumento del riesgo de trombosis venosa o arterial.

El gen de la MTHFR, instalado en el cromosoma 1, consta de 11 exones. En el exón 4, en la posición 677, existe un SNP que involucra un cambio de C por T (677C>T). Ese cambio en el ADN se traduce en un cambio de alanina por valina en el aminoácido 222 de la proteína correspondiente. La alteración produce una versión termolábil de la enzima, que presenta menor actividad; con ello se incrementa la concentración sérica de homocisteína (aminoácido con propiedades aterogénicas y protrombóticas) y, por tanto, el riesgo cardiovascular.

Cada persona posee dos copias del mismo gen (alelos): una procede del padre y la otra de la madre. Pueden ser iguales o distintas. La combinación de alelos para una posición determinada del genoma se denomina genotipo. En el caso de la variación 677C>T en el gen de la MTHFR, los genotipos que podemos encontrar en la población son: CC, CT y TT. En el primero, ambos alelos (materno y paterno) poseen la base C en la posición 677; es, por tanto, un genotipo homocigoto (las dos copias iguales) normal. El genotipo CT es heterocigoto (dos copias distintas), pues uno de los alelos es normal (C) y el otro ha sufrido una mutación (T). Por último, el genotipo TT corresponde a la situación de un homocigoto con los dos alelos mutados.

La variación 677C>T en el gen de la MTHFR es bastante frecuente en la población. Su prevalencia cambia con la zona geográfica. En un estudio realizado sobre una muestra de población general mediterránea española, encontramos que la prevalencia de individuos CC, CT y TT fue del 32, 52 y 16 por ciento, respectivamente. Esa frecuencia tan elevada del alelo T coincide con otros estudios realizados en poblaciones del sur de Europa y contrasta con la menor frecuencia del alelo en el norte de Europa.

Efecto cardioprotector del ácido fólico

Para esa variación se ha descrito una interacción gen-ambiente con la ingesta de ácido fólico, vitamina del complejo B que se encuentra en verduras de hoja verde, frutas, legumbres y cereales integrales. En personas con una dieta pobre en ácido fólico se detecta una mayor concentración sérica de homocisteína en los homocigotos TT, en comparación con los demás genotipos. Ello les confiere un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular. Sin embargo, en una dieta rica en ácido fólico se compensa el defecto en el ADN: los individuos TT presentan una concentración sérica de homocisteína normal.

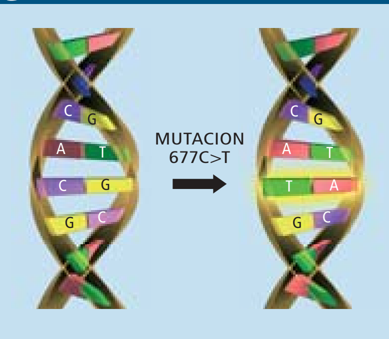
En el estudio Framingham, nuestro grupo comprobó esa interacción a través de la concentración de folatos en plasma. Encontramos mayores concentraciones de homocisteína asociada al genotipo TT en las personas con baja concentración de folatos (menor que 12,5 nanomoles por litro); esa diferencia desaparecía cuando la concentración plasmática de folatos era superior. Tal interacción gen-dieta explicaría la mayor prevalencia del genotipo TT en

2. LAS RECOMENDACIONES NUTRICIONALES deben ajustarse a cada individuo en función del perfil génico. A Manuel los embutidos le disparan el nivel de colesterol; a su sobrina Rocío, no. La pequeña Isabel no tolera el gluten; su bisabuelo Víctor, en cambio, come pan sin problemas. A cada uno de los miembros de esta familia le conviene una dieta distinta.



© *iStockphoto*/STEPHANIE PHILLIPS

¿DETERMINADOS POR NUESTRO GENOMA?



En el cromosoma 1 se aloja el gen de la 5-10-metilentetrahidrofolato reductasa (MTHFR), enzima crucial para el metabolismo de la homocisteína. Si falla esa enzima, se produce un incremento de la concentración sérica de homocisteína que aumenta el riesgo de trombosis venosa o arterial. En el exón 4, en la posición 677, se produce en ocasiones un cambio de C por T (677C>T). Esa alteración determina una versión termolábil de la enzima, que presenta menor actividad con el aumento consiguiente de la concentración sérica de homocisteína y, por tanto, del riesgo cardiovascular.

Los individuos con el genotipo TT para la variación 677C>T (ambos alelos mutados), ¿sufrirán irreversiblemente trastornos cardiovasculares? La respuesta depende de si nos hallamos en una situación de determinismo genético (*A*) o de interacción entre genes y factores ambientales (*B*).

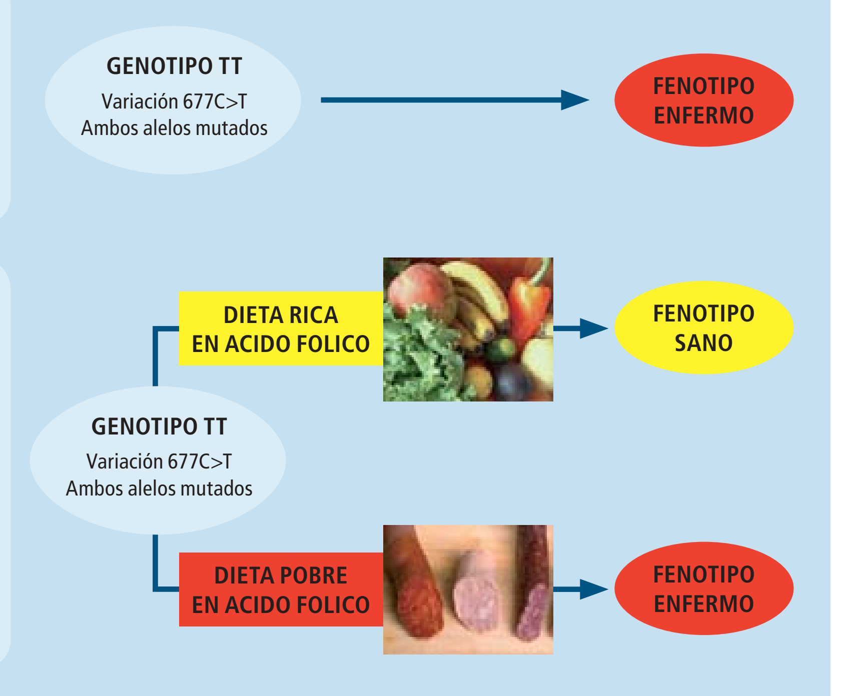
(A) DETERMINISMO GENETICO

En un escenario determinista, en el que no existe interacción entre el genoma y los factores ambientales, las personas con el genotipo TT para la variación 677C>T desarrollarán irreversiblemente algún trastorno cardiovascular debido al aumento de la concentración sérica de homocisteína.

(B) INTERACCION GEN-AMBIENTE

Cuando se producen interacciones gen-ambiente, la posesión de una mutación no implica necesariamente el desarrollo de una enfermedad. En el caso de la variación 677C>T, existe una relación entre el fenotipo resultante y la ingesta de ácido fólico, vitamina del complejo B que se encuentra en verduras de hoja verde, frutas, legumbres y cereales integrales.

En una dieta rica en ácido fólico se compensa el defecto génico, de forma que el individuo TT presenta niveles normales de homocisteína.



los países del sur de Europa en comparación con los del norte.

En la Europa meridional, la dieta mediterránea aporta cantidades elevadas de ácido fólico. A ello se debería que las personas con el genotipo nocivo TT no experimenten un aumento en la concentración sérica de homocisteína y eviten así un incremento del riesgo cardiovascular. Por el contrario, en la Europa septentrional, donde la dieta es menos rica en vegetales y, por tanto, aporta poca cantidad de ácido fólico, las personas con el genotipo TT sí experimentan un aumento de homocisteína en sangre, con el consiguiente incremento de riesgo cardiovascular. Con el tiempo, la selección natural se encarga de reducir la prevalencia del genotipo TT en esa región. De acuerdo con tales investigaciones, habría que recomendar un mayor consumo diario de alimentos ricos en ácido fólico, sobre todo a las personas con el genotipo TT para el SNP 677C>T en el gen de la MTHFR.

Además de estudiar la respuesta fenotípica a la dieta en función del genotipo, la nutrigenómica se propone averiguar el modo en que los nutrientes regulan la expresión de los genes, la repercusión de los polimorfismos en la expresión y regulación génicas y la interrelación entre los cambios operados y los procesos proteómicos y metabolómicos.

Genes, dieta y enfermedades cardiovasculares

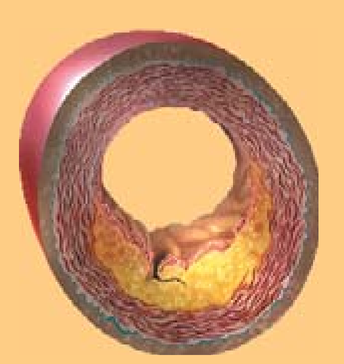
Salvo la hipercolesterolemia familiar, la mayoría de las enfermedades cardiovasculares tienen una base multigénica. La hipercolesterolemia familiar es un trastorno monogénico causado por mutaciones en el gen que codifica el receptor de la lipoproteína de baja densidad (LDL); esa alteración provoca un aumento de la concentración sérica de colesterol total (se sitúa por encima de los 250 mg/dL), que resulta en un elevado riesgo de enfermedad cardiovascular prematura y muerte súbita antes

EL COLESTEROL: FACTOR DE RIESGO CARDIOVASCULAR

La concentración plasmática de colesterol constituye uno de los principales fenotipos intermedios de la enfermedad cardiovascular. La investigación sobre esa sustancia se inicia con Louis René Lecanu (1800–1871), de la Universidad de París; tras observar en 1829 que el colesterol se encontraba en la yema del huevo de gallina, describió en 1838 su presencia también en la sangre humana. Aunque en 1847 J. Vogel hablaba, en *La anatomía patológica del cuerpo humano*, sobre el colesterol en las placas de ateroma, hubo que esperar hasta 1913 para que Anitschkow y Chalatow, del Instituto Militar de Medicina en San Petersburgo, descubrieran, en conejos, la relación entre una dieta alta en colesterol y grasas, y el desarrollo de placas grasosas en las arterias del corazón, similares a las observadas por Vogel y otros en los cadáveres humanos.

Las investigaciones prosiguieron en esa línea a lo largo de la primera mitad del siglo XX, hasta mediados de los cincuenta no se consideró relevante la relación entre hipercolesterolemia, dieta grasa y enfermedades cardiovasculares. El giro vino impulsado por los cambios en las causas de mortalidad y también por trabajos como los de J. W. Gofman y su equipo, de la Universidad de California en Berkeley, quienes en 1950 informaron sobre métodos de separación de lipoproteínas plasmáticas, relación entre la dieta y dichas lipoproteínas, así como su posible asociación con la enfermedad cardiovascular.

Coetáneas con estos avances fueron las contribuciones del "estudio Framingham". En ese estudio de cohorte, iniciado en 1948 en la localidad de Framingham, Massachusetts, se acuñó el concepto de "factor de riesgo cardiovascular": se demostró que la concentración elevada de colesterol plasmático iba asociada con un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular. Cabe mencionar también las investigaciones de A. Keys y Francisco Grande Covián, de la Universidad de Minnesota en Mineapolis. En 1965 publicaron una ecuación que predecía los cambios que experimenta el colesterol de la sangre en función de la dieta: el consumo de grasas saturadas (presentes en la mantequilla, carnes, embutidos, quesos, etcétera) aumentaba el colesterol, mientras que las grasas poliinsaturadas (aceite de soja, aceite de maíz, pescados, frutos secos, etcétera) lo disminuían en una proporción dos veces inferior a la que lo aumentarían las grasas saturadas.



Placa de colesterol en una arteria

A. Keys inició también el estudio de los "siete países", donde puso de manifiesto los beneficios de la dieta mediterránea (rica en frutas, verduras, cereales, legumbres y aceite de oliva virgen) en la prevención de las enfermedades cardiovasculares. Esos resultados respaldaban su hipótesis de que la dieta constituye uno de los factores de mayor importancia para la concentración sérica de colesterol; asimismo, demostraban que la elevación del colesterol mediante dietas ricas en grasas saturadas se asociaba con la arteriosclerosis y la enfermedad cardiovascular.

Apoyado en ese trabajo, Keys avanzó la hipótesis dieta-lípidos-corazón que ha prevalecido hasta la actualidad en la investigación cardiovascular y sobre la que se han fundado numerosas recomendaciones nutricionales.

KEITH KASNOT

de los 60 años. Afecta a una de cada 400 o 500 personas en la población. Se requiere un tratamiento dietético, farmacológico, o ambos, para reducir la mortalidad.

La investigación avanza en el conocimiento de los genes y las variantes génicas que determinan los principales fenotipos intermedios cardiovasculares: concentración de colesterol total, colesterol LDL, colesterol HDL, triglicéridos, presión arterial, concentración de marcadores de inflamación crónica, porcentaje de grasa corporal, etcétera. Se han descrito más de 4000 genes vinculados con los trastornos cardiovasculares; una relación directa, sin embargo, sólo se ha evidenciado en 400, a través de estudios poblacionales. La cifra es menor todavía si consideramos los genes para los que se ha descrito una interacción con algún componente de la dieta.

En nuestro laboratorio hemos identificado varias interacciones gen-dieta que afectan a los principales genes del metabolismo lipídico. Uno de los genes relacionados con las concentraciones de colesterol total y colesterol-LDL es el gen *APOE*; se aloja en el cromosoma 19. Se trata de un gen polimórfico, que presenta tres alelos comunes en la población general: épsilon2, épsilon3 y épsilon4; la frecuencia de los mismos varía ampliamente según la zona geográfica. En general, el alelo épsilon3 es el que presenta una mayor prevalencia. Los portadores del alelo épsilon4 muestran concentraciones séricas mayores de colesterol-LDL que un homocigoto épsilon3, aunque consuman la misma dieta. Los portadores de épsilon2, en cambio, aun siguiendo la misma dieta que los otros dos grupos, serían los que presentarían las concentraciones de c-LDL menores. El alelo épsilon4 se ha propuesto como un *genotipo ahorrador*, puesto que es el que presenta mayores concentraciones de colesterol. Asimismo, se sabe que en las poblaciones primitivas el alelo épsilon4 era el más prevalente; en la actualidad, la frecuencia de ese alelo es todavía muy elevada en numerosos países africanos y poblaciones indígenas.

Otra de las interacciones gen-dieta que hemos descubierto en nuestro laboratorio se produce entre el gen de la lipasa hepática (LIPC) y las grasas de la dieta. La lipasa hepática corresponde a una enzima lipolítica clave del metabolismo del colesterol-HDL. En su región promotora se han descrito distintos SNP en elevado desequilibrio de ligamiento, que forman haplotipo. De todos ellos, el –514C>T ha resultado ser un SNP marcador. En la población blanca, la prevalencia de los genotipos CC, CT y TT ronda el 64, 33 y 3 por ciento, respectivamente. La interacción entre ese polimorfismo y el consumo de grasa total determina la concentración sérica de colesterol-HDL. El efecto de la grasa de

Los autores

Dolores Corella se doctoró por la Universidad de Valencia, donde es profesora y directora de la Unidad de Investigación en Epidemiología Genética y Molecular. Ambos colaboran desde hace más de diez años en la investigación nutrigenómica aplicada a las enfermedades cardiovasculares, sobre todo en la población mediterránea española. **José M. Ordovás** dirige el Laboratorio de Genómica y Nutrición en el Centro de Investigación en Nutrición Humana Jean Mayer-USDA, en Boston. Es catedrático de nutrición y genética en la Universidad Tufts de Boston. Obtuvo el doctorado por la Universidad de Zaragoza en 1982. Centra su investigación en los factores de riesgo de las enfermedades cardiovasculares.

la dieta sobre la concentración de colesterol-HDL no es igual para todos los individuos, sino que varía en función del genotipo para el polimorfismo en cuestión. Un aumento en el consumo de grasas produciría un incremento notable de la concentración de colesterol-HDL en las personas con el genotipo CC, un ligero aumento en los individuos CT y una disminución en las personas TT, siendo éstos los que experimentarían los efectos más nocivos de una dieta rica en grasas.

Se han hallado interacciones gen-dieta también entre el gen de la apolipoproteína A-V (APOA5) y las grasas poliinsaturadas; asimismo, entre un SNP del gen de la perilipina (PLIN) y la proporción de grasas saturadas a carbohidratos en la dieta de mujeres asiáticas de Singapur, una interacción que determina la resistencia a la insulina.

Salud pública

Cuando las enfermedades cardiovasculares comenzaron a ser una causa de defunción importante, las autoridades sanitarias de los países más desarrollados, afectados por los elevados costes de las mismas, decidieron llevar a cabo una serie de campañas informativas con un propósito: modificar el consumo excesivo de alimentos y reducir así la prevalencia de dichos trastornos. A ese planteamiento le preceden las recomendaciones establecidas unos decenios antes en situaciones de enfermedades carenciales: las recomendaciones de la Sociedad de Naciones, en 1938, y la primera edición de las "ingestas recomendadas de nutrientes" o RDA (de "Recommended Dietary Allowances") de EE.UU., en 1943.

En 1957, Irvine H. Page, presidente de la Asociación Norteamericana del Corazón, publicó las primeras recomendaciones nutricionales para la prevención de enfermedades cardiovasculares. Se centraban en la reducción del consumo de grasa total y, sobre todo, de grasa saturada de origen animal. Los primeros estudios que relacionaban la alimentación con la enfermedad cardiovascular estaban basados en la contribución nociva de dichas grasas.

Conforme se ha ido avanzando en el conocimiento de la importancia de otros componentes de la dieta (sal, fibras, antioxidantes naturales, antiagregantes plaquetarios, ácidos grasos *trans*, grasas poliinsaturadas, etcétera), se han ido ampliando esas recomendaciones.

Sin embargo, con la proliferación de guías y recomendaciones dietéticas de distintos organismos y sociedades, se ha agrandado también el grado de confusión de los consumidores. No faltan informaciones contradictorias. Así, la OMS recomienda reducir el consumo de grasa total por debajo del 30 por ciento de la ingesta calórica global a las poblaciones mediterráneas, en las que el consumo de grasa diario se sitúa entre el 35 y 40 por ciento y procede, sobre todo, del aceite de oliva. Sin embargo, se ha demostrado que el aceite de oliva virgen ejerce un efecto cardioprotector. Por tanto, la recomendación dietética de la OMS no resultará siempre adecuada.

El estudio de la variabilidad genómica arrojará luz sobre los mecanismos moleculares que determinan la respuesta fenotípica a una misma dieta. Basados en ese conocimiento, podría generarse una poderosa herramienta preventiva, vale decir, una serie de marcadores genéticos que permitirían prever el éxito o fracaso de una intervención dietética según las características genéticas del individuo. No existe, pues, la "dieta ideal"; ésta varía según las características de la persona y del resultado que se pretenda alcanzar.

Nutrigenómica preventiva

Entre las aplicaciones futuras de la nutrigenómica en salud pública cabe distinguir la prevención primaria y la prevención secundaria. La prevención primaria abarca el conjunto de medidas sanitarias que se llevan a cabo antes de que se manifieste una enfermedad. La prevención secundaria comprende las actividades dirigidas a la restauración de la salud una vez que ha aparecido la enfermedad, así como a la prevención de la reincidencia o mortalidad.

La nutrigenómica podría aplicarse a la prevención precoz, durante el período fetal, mediante la personalización de la dieta de la madre. Pero las aplicaciones más inmediatas pertenecen al dominio de la prevención secundaria y subsiguientes. Los cribados genéticos masivos podrían sustituirse por un método más viable: el análisis genómico de los individuos o de las familias en las que ya se haya detectado un fenotipo, intermedio o final, alejado de la normalidad. La información nutrigenómica se aplicaría a la elaboración de la dieta más adecuada para el perfil genómico del individuo.

Se ha demostrado que la adherencia a la dieta recomendada es mayor cuanto más personalizado es el consejo. No puede olvidarse, por tanto, la integración de las preferencias de consumo en la personalización de la dieta. Además, importa aumentar el nivel de formación en nutrigenómica del personal sanitario, así como de la población general, para que ésta tenga un mayor conocimiento de su susceptibilidad genética y sus requerimientos dietéticos. Por otra parte, la industria alimentaria debe contribuir al desarrollo de nuevos alimentos adaptados al perfil nutrigenómico de determinados grupos de población y facilitar así el cumplimiento dietético.

Bibliografía complementaria

NUTRITIONAL GENOMICS. J. M. Ordovás y D. Corella en *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, vol. 5, págs. 71-118; 2004.

PERILIPIN GENE VARIATION DETERMINES HIGHER SUSCEPTIBILITY TO INSULIN RESISTANCE IN ASIAN WOMEN WHEN CONSUMING A HIGH-SATURATED FAT, LOW-CARBOHYDRATE DIET. D. Corella, L. Qi, E. S. Tai, M. Deurenberg-Yap, C. E. Tan, S. K. Chew y J. M. Ordovás en *Diabetes Care*, vol. 29, págs. 1313-1339; 2006.

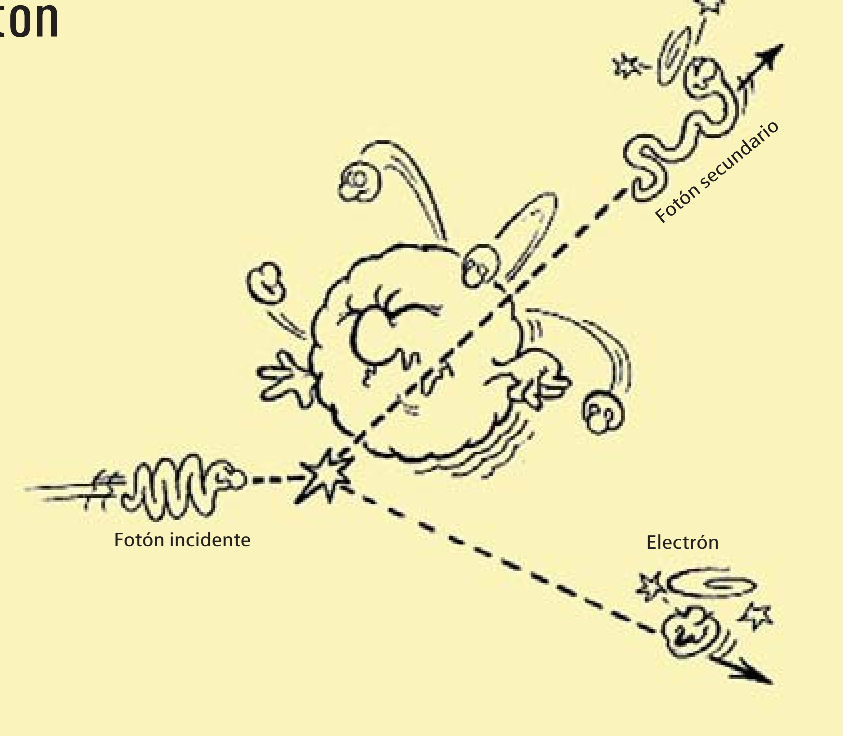
DIETARY INTAKE OF N-6 FATTY ACIDS MODULATES EFFECT OF APOLIPOPROTEIN A5 GENE ON PLASMA FASTING TRIGLYCERIDES, REMNANT LIPOPROTEIN CONCENTRATIONS, AND LIPOPROTEIN PARTICLE SIZE: THE FRAMINGHAM HEART STUDY. C. Q. Lai, D. Corella, S. Demissie, L. A. Cupples, X. Adiconis, Y. Zhu, L. D. Parnell, K. L. Tucker y J. M. Ordovás en *Circulation*, vol. 113, págs. 2062-2070; 2006.

Geometría con Compton

Un fotón rico en energía alcanza a un electrón y lo pone en movimiento; un fotón pobre en energía volará tras el choque en otra dirección

Norbert Treitz

Dedicado al recuerdo de Horst Harreis (1940-2002)



1. EN EL EFECTO COMPTON, un fotón incidente pone en movimiento un electrón que estaba ligado débilmente a un núcleo. Para que el balance de energía y movimiento cuadren, debe emitirse un fotón secundario.

Los físicos tienen una especial predilección por los choques, sobre todo por los más sencillos, esos donde los objetos involucrados carecen de "vida interna" digna de mención. La energía no puede escapar entonces a hurtadillas de la vista del observador, oculta en una deformación o un pequeño aumento de temperatura. Tendrá que irse igual que vino: constituida en movimiento. Aun así, en un campo de potencial, gravitatorio o electrostático, sí podrá esconderse energía. Ejemplos clásicos de objetos sin interioridad son las bolas de billar ideales o los planetas (cuando lo que pase dentro no venga al caso).

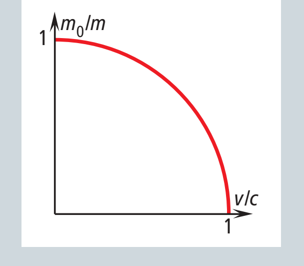
Dadas estas premisas, con saber de cada participante en el choque dos magnitudes, la cantidad de movimiento —o "momento"— y la energía, ya se llega muy lejos. La suma (vectorial) de todos los momentos se mantiene constante en cada choque; y lo mismo ocurre con la energía total. La cantidad de movimiento p y la energía cinética E_{cin} de cada implicado en el choque dependen la una de la otra de forma simple: en el instituto se aprende que $E_{cin} = mv^2/2$ (m es la masa y v la velocidad); como $p = mv$, se tiene que $E_{cin} = p^2/(2m)$. Esta fórmula sólo vale en el caso límite en que los movimientos relacionados con el choque son lentos, pero la fórmula relativista análoga, válida para cualquier velocidad y de la que se deriva ese límite, no es mucho más complicada (*véase el recuadro*).

Si se representa la energía en función de la raíz cuadrada de p^2 —el módulo del vector p— conforme a la aproximación no relativista, se obtendrá una parábola. Pero si se representa la energía en función de las tres componentes del momento, se tendrá algo más complicado. En lo que sigue, sólo necesitaremos dos componentes; nos los figuraremos horizontales, sobre la mesa. Aprovecharemos así la dirección vertical, hacia arriba, para representar la energía.

La energía queda representada de ese modo por un paraboloide de revolución. Para imaginarse semejante superficie, piénsese en la cara interior de una huevera, infinitamente alta. Gracias a inter-

MOVIMIENTO Y ENERGIA A VELOCIDADES RELATIVISTAS

Según la teoría de la relatividad, la masa m de un cuerpo en movimiento aumenta con su velocidad según la fórmula $m = m_0/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, donde m_0 es la "masa en reposo" del cuerpo, esto es, la masa que tiene en el sistema de referencia que se mueve con él. Según la fórmula $E = mc^2$, se tiene que $E = m_0c^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$; se eleva al cuadrado esta ecuación, se sustituye la "energía en reposo" $E_0 = m_0c^2$, y tras algunas transformaciones se obtiene $E^2 - E_0^2 = (pc)^2$, donde igual que antes sigue valiendo $p = mv$. Obsérvese que $(m_0/m)^2 + (v/c)^2 = 1$: la relación entre masa dinámica y la velocidad es la ecuación de una circunferencia (*véase la figura*). Para velocidades v muy pequeñas con respecto a c, en el desarrollo en serie de Taylor de E pueden despreciarse todos los términos menos los dos primeros no nulos, $m_0c^2 + \frac{1}{2} m_0v^2$. Se obtiene así la fórmula no relativista $E_{cin} = p^2/(2m_0)$, con $m = m_0$ en p.



THORMOD HENRIKSEN, UNIVERSIDAD DE OSLO (*arriba*); CHRISTOPH PÖPPE (*gráfica*)

pretaciones geométricas de este tenor, podremos introducirnos en el comportamiento de objetos colisionantes.

Los personajes de nuestra historia participan en un choque y sus vidas internas no es que sean despreciables, es que ni siquiera comparecen. El protagonista es un electrón, pero valdrían otras partículas que tampoco tengan estados excitados cuando se encuentran libres; por ejemplo, un fotón. Fotones son los demás actores. La representación se denomina "Efecto Compton".

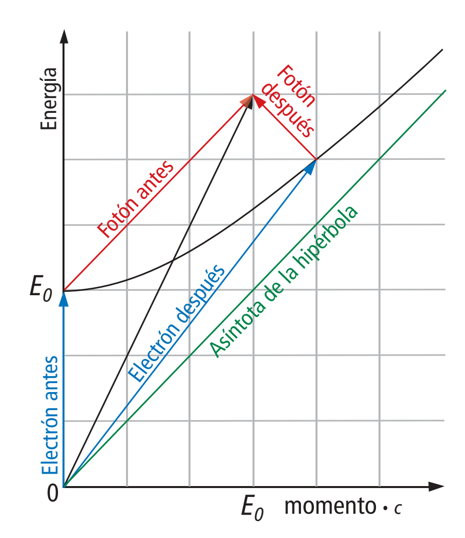
La sinopsis suele expresarse con las siguientes palabras: un fotón incidente "se dispersa" en un electrón, pierde energía (toma una longitud de onda más larga) y se aleja por otra dirección. En realidad, el fotón saliente no tiene nada en común con el fotón incidente, a excepción de haberse encontrado en el mismo sitio y el mismo instante. Pues ambos se distinguen en la única cualidad que permite distinguir a los fotones: su energía (o su cantidad de movimiento, que viene a ser lo mismo para estas partículas).

Muy poquita teoría de la relatividad

En el efecto Compton se parte de que el electrón está quieto y desligado, libre. Dicho más exactamente: una ligadura de algunos electronvolt (eV) que tenga con un átomo quedará empequeñecida ante los cientos de keV que se le van a disparar. (Un eV es la energía que recibe un electrón, o cualquier otra partícula con una unidad de carga eléctrica, cuando cae por un potencial eléctrico de un volt.) No vamos a hablar, pues, de fotones blandos, que sólo llevan un átomo a un estado excitado. (Es el sistema total del átomo el que se excita, no sólo el electrón: un electrón del átomo salta —en una representación clásica, no verdaderamente cuántica— a una trayectoria más alta, y con ello deviene más lento; esta pérdida de energía cinética, junto con la energía del fotón, se almacena en el campo eléctrico.)

Los fotones se desplazan en todo sistema inercial a la velocidad de la luz *c*. En este caso, por falta de masa en reposo, ya no nos sirve la fórmula clásica. Pero el fotón tiene un momento. Se cumple que $E = pc$ (aunque por sencillez empleemos la misma notación, téngase en cuenta que ahí p no es un vector, sino su módulo). En cambio, para los electrones la relación relativista entre energía y movimiento se expresa con

2. UN ELECTRON CUYA ENERGIA es de 511 keV (corresponde a 3 casillas en el diagrama), es decir, sin más energía que su energía en reposo, es alcanzado por un fotón con la misma energía. La representación geométrica muestra que un fotón emitido en sentido contrario se lleva un tercio del momento original.



la fórmula $E^2 = E_0^2 + (pc)^2$, donde E_0 es la energía en reposo que el electrón ya tiene en razón de su masa (*recuadro*).

Igual que su caso límite clásico mencionado más arriba, esta relación es una ecuación polinómica de segundo grado en las variables E y p, una suma de términos consistentes en el producto de una constante y la segunda potencia de la variable como máximo. Las ecuaciones de este tipo describen geométricamente la sección de un cono. Cuando representamos E en función no del módulo del vector momento, sino de sus dos componentes (la suma de cuyos cuadrados da el cuadrado del módulo), la sección cónica constituye una superficie de segundo grado en el espacio.

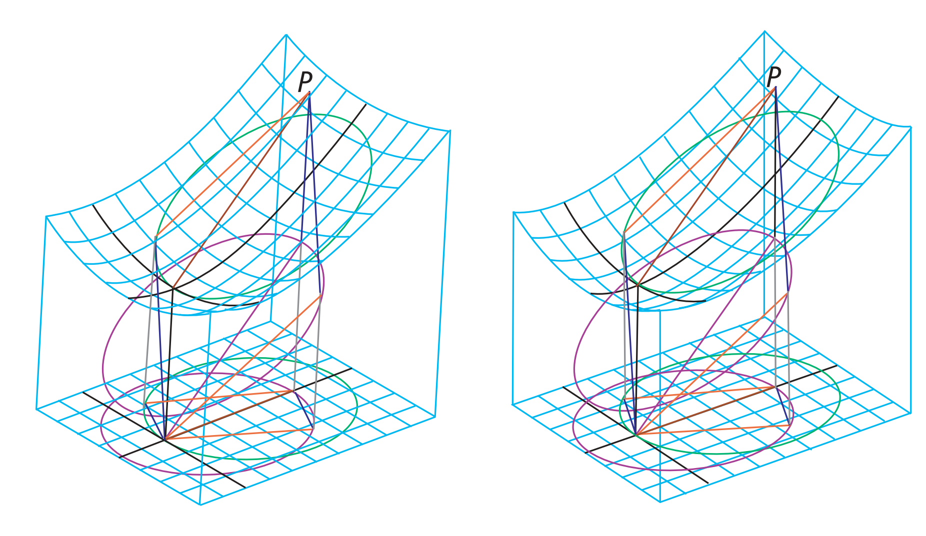
Para el electrón, se trata de la hoja superior de un hiperboloide de revolución de doble hoja, cuyo punto más bajo está E_0 por encima del origen. Su superficie asintótica es un cono con la punta en el origen y generatrices de pendiente *c*. "Muy en las afueras", el hiperboloide de revolución se arrima, pues, cada vez más al cono; en cambio, cerca del origen, comparado con el puntiagudo cono, es romo, redondeado. Una de esas copas de helado planas, metálicas, en que a veces se sirven los helados son una buena analogía de la hoja de hiperboloide; el cono, en cambio, se abre mucho más que un cucurucho de helado. El vector de energía-momento del electrón puede marcar cualquier punto de la hoja de hiperboloide. Un cono es un hiperboloide degenerado, porque no tiene la constante aditiva que diferencia geométricamente la fórmula de la energía del electrón de la energía del fotón, tal y como están escritas en el párrafo anterior. El vector de energía-momento del fotón, pues, marcará un punto cualquiera de la asíntota cónica.

Un electrón y un fotón combinados corresponden en el espacio de energía-momento a un punto en un cono de fotones cuya punta se sitúe sobre un punto del hiperboloide de electrones. Ese punto no puede hallarse en el hiperboloide, cuya pendiente es en todas partes menor que la del cono: un electrón no puede absorber sin más el fotón.

Un átomo lo tiene aquí más fácil. Transfiere el momento total del fotón a su propio movimiento y salta con la energía que sobre a un estado excitado, en caso de que ese exceso de energía sea de la magnitud adecuada. Como el electrón libre carece de tal posibilidad, deberá emitir un fotón secundario, en el caso más simple uno igual al que le vino, como si no hubiera habido ningún choque. Pero también podría emitir un fotón de menor energía. Los balances de energía y movimiento nos dirán qué es posible y qué no.

Para empezar, fijémonos en un caso especial, muy simple por dos razones: porque el fotón tiene la misma energía que el electrón en reposo, esto es, 511 keV, y porque el nuevo fotón sale justo hacia atrás (un retroceso perfecto). ¿No podría quedarse quieto, como una bola de billar que colisionara contra otra en reposo y de igual masa? Esto no le está permitido a un fotón. Del choque ha de salir despedido un fotón

Se puede calcular (o leer a partir de la figura 1) qué pasa en este caso especial: el fotón cede 2/3 de su energía y 4/3 de su momento al electrón. El electrón porta entonces 5/3 de la energía que tenía hasta ese instante —su energía en reposo— y, además, los 4/3 del momento del fotón primario. Al fotón secundario le quedan así 1/3 de la energía y –1/3 del momento, por lo que se desplaza hacia atrás. ¿Cuadran los diferentes valores del electrón? Sí, pues $(3/3)^2 + (4/3)^2 = (5/3)^2$. El retroceso Compton perfecto realiza —con respec-



3. EN ESTE PAR DE IMAGENES ESTEREOSCOPICAS se ven la curva de corte entre cono e hiperboloide y su proyección sobre el plano de los momentos (*elipses verdes*): obsérvese la imagen de la izquierda sólo con el ojo izquierdo y la de la derecha sólo con el derecho hasta que se obtenga una imagen tridimensional. Los puntos de la curva de corte corresponden a la energía y momento combinados del electrón y del fotón justo después del choque; la elipse violeta da las mismas magnitudes para el fotón secundario sólo.

SIGANIM/SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT, SEGUN NORBERT TREITZ

to al denominador común 3^2— la menor de las tripletas pitagóricas.

Por mor de comparación: un objeto pequeño (bola o molécula) que choque elásticamente contra una pared en reposo, o cualquier objeto al que se pueda considerar infinitamente pesado, no cederá energía, pero sí el doble de su momento. Una bola de billar, que incida elástica y centralmente en otra de igual peso, cederá su momento y energía de movimiento a ésta. En otros sistemas inerciales sigue cumpliéndose eso mismo en lo que se refiere a la transferencia de momento, pero no en lo que se refiere a los signos y a la magnitud de la transmisión de energía.

Por desgracia, no todos los cálculos pueden realizarse sin lápiz y papel, pero con nuestras superficies alabeadas (el hiperboloide y el paraboloide) se nos permite visualizarlos.

Un simple corte

Como nuestro electrón se halla en reposo antes de colisionar con el fotón, en el espacio de energía-momento se hallará en el punto más bajo de su hiperboloide. Y ahí se apoyará el cono de fotones; un punto del cono corresponderá, pues, al vector de energía-impulso del electrón y fotón juntos. Denominémosle *P*.

Tras el encuentro tiene que seguir habiendo un electrón, esto es, debe poder descender desde ese punto elevado hasta el hiperboloide de electrones, y se hará por el vector del fotón que salga del choque. Geométricamente, corresponde a lo siguiente: a que apoyemos un cono de fotones invertido sobre el punto *P*. Todo lugar donde corte al hiperboloide de electrones será un estado permitido del electrón tras el choque. El fotón que saldrá del choque corresponderá a un vector que lleva de uno de esos puntos de corte a *P*.

El conjunto de los estados permitidos es, pues, la curva de corte de un hiperboloide con un cono, una "sección cónica". Pero, ¿se trata de una cónica en el sentido ordinario de la palabra, una línea de corte entre un cono y un plano? La respuesta es afirmativa.

Para verlo, se sustituyen las ecuaciones para el cono y el hiperboloide una en la otra. Desaparecen entonces los términos cuadráticos y se obtiene la ecuación de un plano. En este plano tiene que estar nuestra curva. Será, pues, una cónica; al hallarse cerrada, ha de tratarse de una elipse. También contiene el punto más bajo del hiperboloide: nos encontramos en el caso particular en que el electrón emite un fotón que se confunde con el incidente por ser igual a él y en el que el electrón mismo no se mueve de su lugar.

La proyección de la elipse en el plano del movimiento es otra elipse. Contiene todos los posibles momentos del electrón tras el choque (*véase la figura 2*).

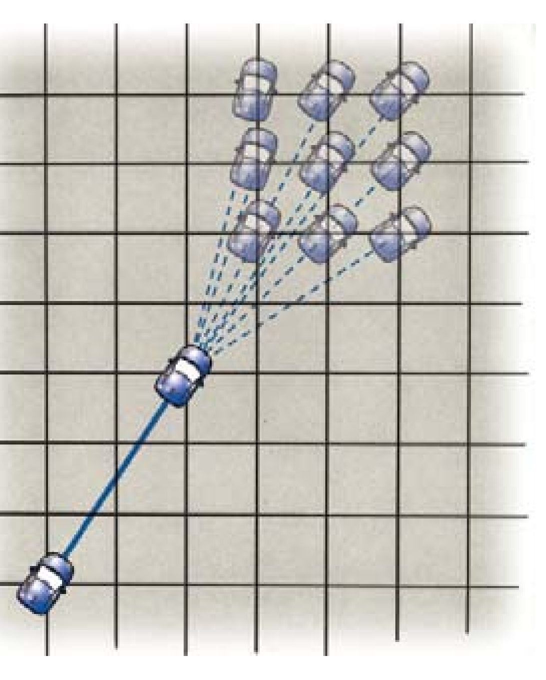
Carreras cuadriculadas

Un conocido y divertido juego, carreras de coches en papel cuadriculado, puede ayudarnos a aprender algo de física

Juan M. R. Parrondo

Hace algunos años, se hizo popular un juego sencillo e ingenioso: carreras de coches en papel cuadriculado. El único material necesario es una hoja de papel cuadriculado y un bolígrafo (o varios de colores, para mayor refinamiento). Pueden participar tantos jugadores como lo deseen.

Se dibuja en el papel el plano de un circuito de carreras. El trazado puede ajustarse a la cuadrícula o no. La pista puede estrecharse, ensancharse, tener largas rectas, curvas cerradas, etcétera. Se elige una línea de salida desde la que se inicia la trepidante carrera. Cada jugador conduce un coche dibujando a trazos su trayectoria por turnos. Los posibles movimientos de un coche en un turno dependen de cómo se movió en el turno anterior. Si realizó un movimiento de coordenadas (n,m), en el siguiente turno podrá realizar el mismo movimiento (n,m), aumentar o disminuir una de estas coordenadas en una unidad como máximo (y siempre que la casilla de destino no esté ya ocupada por otro vehículo).



1. LAS LINEAS DISCONTINUAS muestran los nueve posibles movimientos en un turno, siendo el trazo continuo el movimiento en el turno anterior.

Podemos ver un ejemplo en la figura 1. En un turno, el coche azul se ha desplazado 2 casillas hacia la derecha y 3 hacia arriba. En el turno siguiente, puede moverse a cualquiera de los nueve puntos señalados en la figura.

Esta regla intenta reflejar que los coches tienen una capacidad limitada para cambiar su velocidad, es decir, para acelerar, frenar o girar. La regla cumple sorprendentemente bien su objetivo. En la figura 2 podemos ver una "carrera" entre dos coches, en la que, después de una recta, hay que realizar un giro cerrado. Los coches parten de la línea de salida con poca velocidad y aceleran en la recta. El coche rojo ha elegido bien su estrategia y logra encarar la curva con la velocidad adecuada. Sin embargo, el coche azul ha acelerado demasiado y acaba saliéndose de la pista. (Cuando esto ocurre, en el siguiente turno se vuelve a la carretera con velocidad uno, es decir, adelantando una casilla en cualquier dirección.)

Los trazos remedan bastante bien la trayectoria real de un vehículo. De hecho, para jugar les recomiendo que se dejen llevar por la intuición, puesto que intentar anticiparse a varias jugadas, contando con precisión las casillas que quedan para una curva, por ejemplo, es bastante complicado (y aburrido).

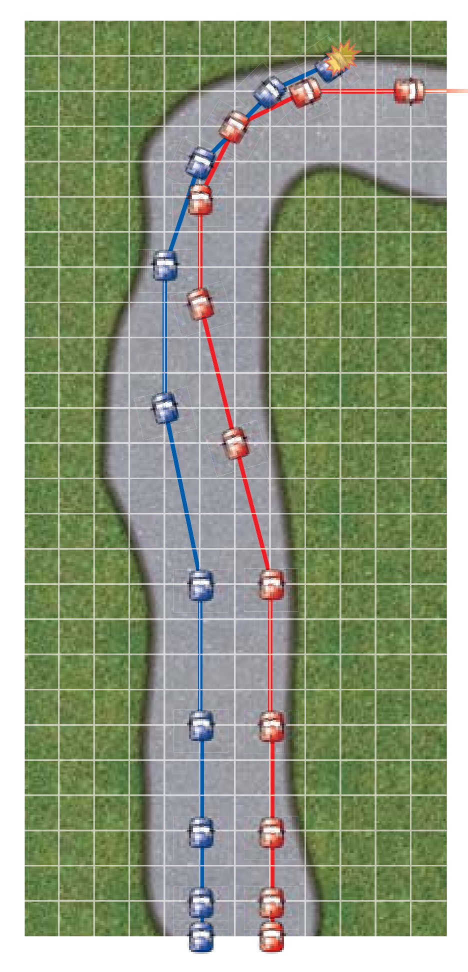
¿Por qué estas reglas tan simples reproducen con algo de realismo el comportamiento de un coche? Si entendemos por "velocidad" del vehículo su desplazamiento por "unidad de tiempo", es decir, por turno, lo que la regla de movimiento limita es la variación de dicha velocidad, que puede como máximo ser de una casilla en las dos direcciones. En otras palabras, la aceleración de nuestro coche no puede ser mayor de una casilla en cada dirección (para ser más precisos, no puede ser mayor que "una casilla por turno al cuadrado"). Y esto es lo que le ocurre a un coche real: su capacidad de acelerar depende de la potencia del motor; la de frenar, de la calidad de los frenos, y la de girar, de la adherencia de los neumáticos. Recordemos que, en la disciplina de la física que se dedica a describir el movimiento de un cuerpo, la cinemática, acelerar, frenar y girar son esencialmente lo mismo: variaciones de la velocidad, es decir, aceleración. Limitando la aceleración a una casilla, conseguimos reproducir de forma aproximada las características del movimiento real del coche.

Las carreras cuadriculadas son, por tanto, una forma divertida de ilustrar muchos conceptos e ideas de la cinemática, como el carácter vectorial de la velocidad y de la aceleración, que a nuestros alumnos les trae de cabeza en el bachillerato e incluso en la universidad. Las trayectorias en la cuadrícula constituyen en realidad una cinemática "discreta", es decir, una cinemática en la que tanto el espacio como el tiempo toman valores enteros: las casillas de la cuadrícula en el caso del espacio y los turnos en el caso del tiempo.

Es instructivo comprobar cómo cambia la cinemática cuando se "discretiza". Imaginemos un movimiento uniformemente acelerado, en el que la aceleración es constante. En la cuadrícula, un movimiento con una aceleración constante de una casilla consistiría en un movimiento en línea recta en el que el coche avanza en cada turno una casilla más. Si en el primer turno avanza una casilla, en el segundo avanza 2, en el tercero 3, etc. El desplazamiento neto después de t turnos sería entonces:

$$d(t) = 1 + 2 + 3 + \ldots + t = t(t + 1)/2$$

Los lectores con conocimientos de cinemática recordarán que el desplazamiento para el movimiento "normal" con una



2. UNA “CARRERA CUADRICULADA”. El coche azul ha acelerado demasiado en la recta y se ha salido en la curva, mientras que el rojo la ha tomado de forma adecuada.

aceleración a es $at^2/2$. Las dos fórmulas se parecen, para $a = 1$, si t es mucho mayor que 1, es decir, tras un gran número de turnos. En este caso, el espacio recorrido es bastante grande y, por ello, el movimiento “discreto”, es decir, sobre la cuadrícula, recuerda al movimiento uniformemente acelerado habitual, en el que tiempo y espacio son continuos.

Otro ejemplo clásico de la cinemática elemental nos lo ofrece el movimiento parabólico de un proyectil en la superficie terrestre. El proyectil tiene una velocidad horizontal constante y una velocidad vertical sometida a una aceleración provocada por la gravedad y, por tanto, dirigida hacia abajo. Es sencillo obtener el análogo discreto (*ejemplos de la figura 3*). El desplazamiento horizontal es siempre el mismo, mientras que el vertical disminuye paulatinamente una casilla por turno. No es difícil demostrar que los puntos de cualquier trayectoria de este tipo se encuentran en una parábola real. Los puntos de la trayectoria roja se encuentran en la parábola:

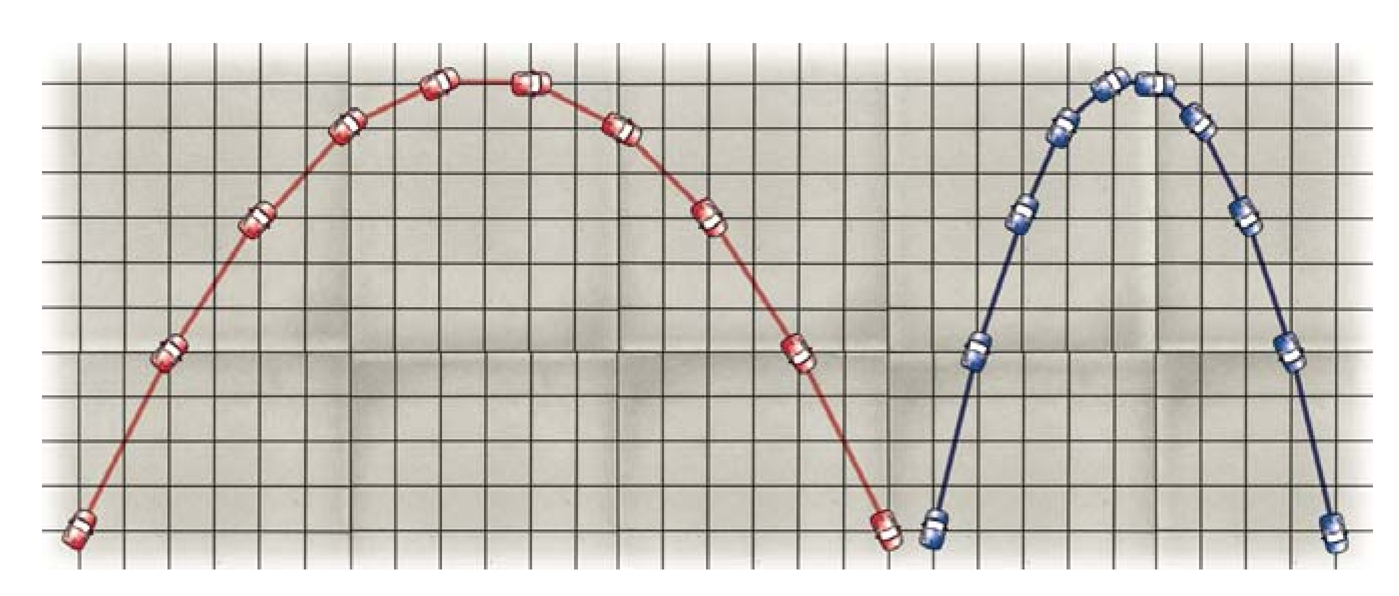
$$y = x(18 - x)/8 = 2{,}25x - x^2/8$$

que es, como pueden comprobar los lectores familiarizados con la cinemática, la trayectoria de un cuerpo que se mueve con velocidad horizontal de dos casillas por segundo, aceleración vertical de una casilla por segundo al cuadrado dirigida hacia abajo y velocidad vertical inicial de 5 casillas por turno. La trayectoria azul está también formada por puntos en una parábola: $y = 4{,}5x - x^2/2$, correspondiente a un móvil con velocidad horizontal de 1 casilla por turno, velocidad vertical inicial, 4,5 casillas por segundo, y aceleración vertical de 1 casilla por segundo al cuadrado.

Aunque las velocidades iniciales varían ligeramente, la versión discreta del movimiento de proyectiles reproduce con bastante fidelidad el movimiento real en espacio y tiempo continuos. Lo que se explica por la sencillez de este tipo de movimiento. Más concretamente, ello se debe al hecho de que la aceleración apunta sobre una de las direcciones de la cuadrícula: la vertical. Si quisiéramos, por ejemplo, reproducir en nuestro papel cuadriculado el movimiento de los planetas en torno al Sol, los puntos no estarían exactamente sobre una elipse, sino sólo de forma aproximada. Pero bastaría hacer la cuadrícula más pequeña, o lo que es lo mismo, las velocidades y aceleraciones muy grandes en términos de casillas por turno y por turno cuadrado, respectivamente, para obtener trayectorias cada vez más parecidas a una elipse real. Así ocurre en las simulaciones por ordenador de cualquier tipo de movimiento, en películas, videojuegos o aplicaciones científicas. En el ordenador, el movimiento se simula en un espacio y tiempo necesariamente discretos. Pese a todo, resulta asombroso el realismo de tales simulaciones.

Las carreras cuadriculadas pueden considerarse, en cierto modo, un videojuego rudimentario, en el que los cálculos a realizar y la representación gráfica son tan simples, que los mismos jugadores pueden realizarlos con un simple bolígrafo. En cualquier caso, les recomiendo que lo practiquen: pasarán un rato divertido, aprendiendo además algo de física.

3. Dos parábolas “discretas”: la roja corresponde a un móvil con una velocidad horizontal de dos casillas por turno y la azul, de una casilla por turno.



Desalinización

Recién salida del mar

Mark Fischetti

En Oriente Medio y en el Caribe hace decenios que se obtiene agua dulce potable a partir del agua del mar. En EE.UU. existen sólo unas cuantas plantas desalinizadoras de importancia. La mayor opera en Tampa (Florida); en Carlsbad (California) hay en desarrollo un proyecto de tamaño doble. Pero su número podría aumentar rápidamente conforme millones de personas migran a comunidades costeras donde el agua subterránea es a menudo insuficiente. Para California sola se han propuesto casi 20 desalinizadoras. En Texas y en Georgia se está pensando en ese tipo de instalaciones; también en Florida.

Por término medio, el agua del mar contiene por litro unos 35,1 gramos de sólidos disueltos, el 99 por ciento de los cuales corresponden a sales. La Organización Mundial de la Salud considera que un agua es potable cuando ese contenido se sitúa por debajo de 0,5 g/L. Existen varios métodos de conversión, pero en la actualidad sólo dos competidores responden de más o menos el 88 por ciento de la capacidad mundial: la destilación súbita multietapa y la ósmosis inversa.

La destilación súbita multietapa requiere vapor a alta temperatura; éste abunda como subproducto en las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles. De ahí que en Oriente Medio haya una planta multietapa junto a casi cada central eléctrica. Las instalaciones de ósmosis inversa, por lo general de construcción más barata pero que en cambio funcionan con electricidad, no fueron competitivas por su costo hasta el decenio de los noventa del siglo pasado, cuando se mejoraron el rendimiento y la duración de las membranas extractoras de sal. También el refinamiento de los filtros para el pretamizado de partículas en suspensión contribuyó a prolongar la vida de las membranas.

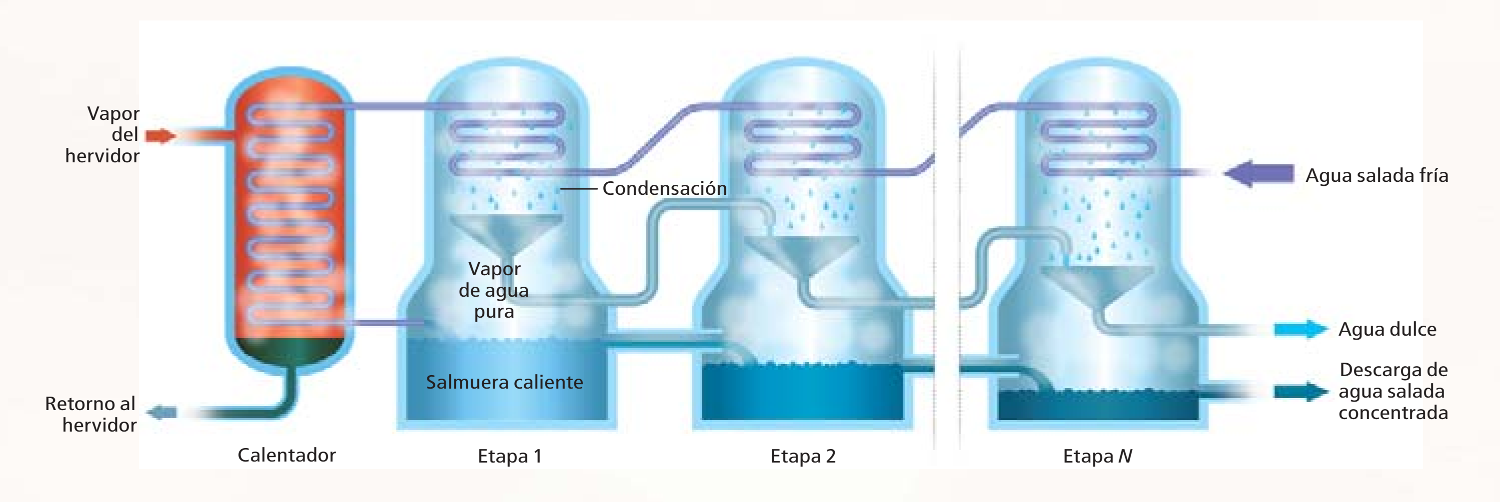
General Electric, constructor de plantas y proveedor de membranas destacado, está promocionando ahora una planta híbrida que combina lo mejor de ambos procedimientos: reduce las necesidades energéticas sin dejar de producir un agua dulce de gran calidad.

Algunos ecologistas han objetado a las desalinizadoras. Aducen que las tomas de agua matan la vida marina y que la descarga de sales concentradas altera el agua de mar circundante. Pero Tom Pankratz, consultor de desalinización en Houston, asegura que los diseñadores de las plantas se protegen contra ambos efectos, pues no quieren que los peces atasquen los circuitos ni que aumente la salinidad local, ya que el agua de entrada sería entonces más difícil de procesar.

OSMOSIS INVERSA. Impulsada por bombas, el agua salada atraviesa una membrana semipermeable que retiene las sales disueltas. El agua dulce resultante es extraída por capilaridad hacia un colector central desde donde sale al exterior; el agua salada que queda pasa a otro colector y sale del sistema.

1 Pretratamiento
Las impurezas del agua salada se eliminan por filtrado y tratamiento químico

DESTILACION SUBITA MULTIETAPA. El agua salada fría se calienta al pasar por una sucesión de columnas de destilación. Un calentador la recalienta a presión. Cuando el líquido penetra en una columna abierta que se halla a una presión levemente menor (etapa 1), hierve súbitamente, despidiendo hacia arriba un vapor de agua que se condensa en colectores. La columna contigua (etapa 2) se mantiene a una presión aún inferior, con lo que el agua salada que queda vuelve a hervir súbitamente, y así sucesivamente a través de numerosas columnas.



¿SABIA USTED QUE...?

- **LAS SALES DEL AGUA:** El cloruro sódico constituye alrededor del 86 por ciento de los sólidos disueltos en el agua de mar, el sulfato magnésico un 11 por ciento, y el bicarbonato cálcico y el bromuro potásico en torno a un 1 por ciento cado uno.
- **DE OCEANO A OCEANO:** La concentración media de "sales totales disueltas" en el agua de mar varía de forma notable: 33,3 gramos por litro en el Pacífico; 40,6 g/L en el Mediterráneo; 48,0 gr/L en el golfo Pérsico.
- **SABORES:** Para que un agua pueda calificarse de potable su contenido en sales debe ser inferior a 0,5 g/L. La mayoría de la gente nota un gusto desagradable para concentraciones próximas o superiores a 1,0 g/L. Pero si la concentración disminuye demasiado, el agua suele resultar insulsa o insípida.
- **LITROS:** Según la revista Global Water Intelligence, en Oriente Medio unas 1700 plantas desalinizan 21.000 millones de litros de agua de mar cada día. La capacidad mundial es de unos 29.000 millones de litros diarios.
- **IRAK:** El Ejército de EE.UU. posee varios miles de pequeños remolques, cada uno con una capacidad de producción, por ósmosis inversa, de hasta 11.500 litros diarios de agua dulce a partir de agua salobre. Algunos están diseñados para ser lanzados en paracaídas, práctica rutinaria del Ejército en Irak.

2 Desalinización
La sal se elimina por ósmosis inversa (*izquierda*) o por otro proceso, tal como la destilación súbita (*arriba*). El concentrado de agua salada se descarga de vuelta al mar.

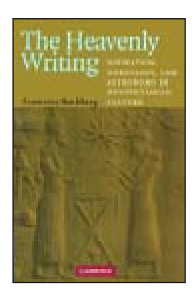
3 Postratamiento
El agua dulce se tampona y almacena

3

Agua dulce

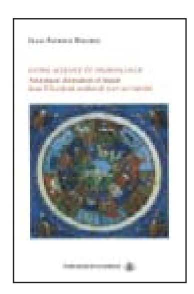
Depósito

5W INFOGRAPHICS



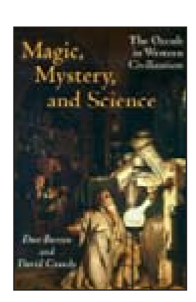
THE HEAVENLY WRITING. DIVINATION, HOROSCOPY, AND ASTRONOMY IN MESOPOTAMIAN CULTURE

por Francesca Rochberg. Cambridge University Press; Cambridge, 2004.



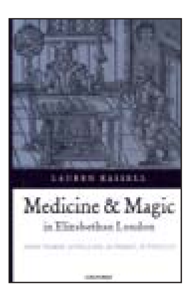
ENTRE SCIENCE ET NIGROMANCE. ASTROLOGIE, DIVINATION ET MAGIE DANS L'OCCIDENT MÉDIEVAL (XII^E^-XV^E^ SIÈCLE)

por Jean-Patrice Boudet. Publications de la Sorbonne; París, 2006.



MAGIC, MYSTERY, AND SCIENCE. THE OCCULT IN WESTERN CIVILIZATION

por Dan Burton y David Grandy. Indiana University Press; Bloomington, 2004.



MEDICINE AND MAGIC IN ELIZABETHAN LONDON. SIMON FORMAN. ASTROLOGER, ALCHEMIST, AND PHYSICIAN

por Lauren Kassell. Clarendon Press; Oxford, 2005.

Ciencia y pseudociencia

Durante siglos, la ciencia avanzó entreverada de concepciones irracionales

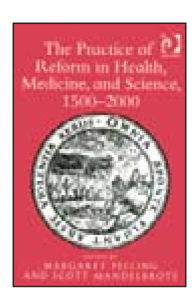
El triunfo de la ciencia acabó con todas las demás explicaciones de la realidad. Pero no fue labor de un día. Ni la astrología, ni la alquimia ni la magia se disolvieron ante la rotundidad de las demostraciones matemáticas o la contundencia de las pruebas observacionales. Hubo un largo tiempo en que aquélla y éstas coexistieron. Con perspectiva suficiente, parece obligado reconocer que, junto a la filosofía griega, el derecho romano y la religión judeocristiana, lo "oculto" ha configurado el pensamiento occidental (*The Heavenly Writing* y *Magic, Mystery, and Science*).

Desde los albores de la historia, el Egipto de los faraones se ha venido considerando la fuente del saber mágico durante milenios, mucho antes de que Moisés se las hubiera con los magos politeístas. Herodoto y Platón veneraban la civilización egipcia, pese a ser en su tiempo sólo una sombra de lo que fue. Era una magia profundamente inmersa en los ritmos de la naturaleza, en el ciclo de las estaciones, en el desbordamiento anual del Nilo y en los movimientos del cielo estrellado. El mito de Osiris constituye la clave de bóveda de la búsqueda egipcia de la vida eterna. De su matrimonio con Isis nació Horus. Osiris recibía un curioso tratamiento dúplice, vivo y muerto. Así se le figura en el arte egipcio. Buena parte de su cuerpo aparece apretadamente envuelto en lino, cual corresponde a una momia, menos su cabeza y brazos, que se encuentran libres para empuñar los símbolos de la realeza. Ambivalencia que se repite en Horus. Aunque Osiris es un dios resucitado, no volvió nunca al reino de los vivos, sino que quedó para siempre vinculado a la muerte y a la experiencia de ultratumba.

Los egipcios distinguían tres entidades inmateriales que se liberaban al morir: *ka, ba* y *akh*. El *ka* era una fuerza vital del individuo. Puesto que necesitamos comer para mantenernos vivos, resultaba forzoso que hubiera comida para más allá de la muerte; al *ka* le competía la ingesta de la comida de las ofrendas más allá de la muerte. El *ba*, representado como un halcón con cabeza de hombre, era el espíritu viajero, que podía adquirir la forma que quisiera, visitar el mundo de los vivos o cruzar el firmamento a bordo del barco del dios. El *akh*, representado por un ibis con cresta, era la parte del difunto que podía formar parte del universo, o inmortal. Hubieran considerado pecado nefando la cremación del cadáver, toda vez que vinculaban la idea de vida eterna a un cuerpo físico. De ahí la momificación, que dejaba intacto el corazón. Situaban en éste la sede de la inteligencia. Los vasos sanguíneos iban y venían del corazón, como medio de transmitir sentimientos y pensamientos.

Los egipcios disponían de múltiples sistemas de representación. Se contaban por miles los tipos de amuletos, dotado cada uno de su propio significado y función. Acostumbraban incluirse en el vendaje de la momificación, para asegurarse la protección del cuerpo a través de la magia. El ojo de Horus, el de la cabeza de halcón, constituía el espécimen más apreciado, pues quien la poseía tenía asegurada la salud. (En su lucha contra Seth, Horus perdió un ojo, pero Thoth se lo restableció.) Otro amuleto común era el escarabajo pelotero, emblema de la vida. (El pelotero ponía sus huevos en pellas de estiércol, que se arrastraban y formaban pelotas. La emergencia de nuevos escarabajos eclosionados se atribuía a un fenómeno de generación espontánea.)

Se aprecia mejor el valor de la astrología si uno repara en la maravillosa naturaleza de los cuerpos celestes. El brillo de la bóveda celeste y el movimiento periódico, aparentemente autónomo, junto con su capacidad extraordinaria de resistir la atracción gravitatoria induciría a pensar en una inteligencia propia o en un diseñador inteligente. Además de ser objetos de interés científico, las estrellas ofrecen lecciones morales, pues elevan los ojos y el alma. La destreza de los babilonios en la observación astronómica se convirtió en leyenda para los filósofos de la antigüedad clásica. Merced a los trabajos de Rochberg sobre horóscopos, adivinación y eclipses babilonios, nadie



THE PRACTICE OF REFORM IN HEALTH, MEDICINE, AND SCIENCE, 1500-2000.

Dirigido por Margaret Pelling y Scott Mandelbrote. Ashgate; Aldershot, 2005.

duda ahora de que las raíces de la astronomía y de la astrología deben buscarse en las tablillas cuneiformes de hace dos mil años. Horóscopos y consultas a las estrellas prepararon el terreno a la astrología. En Mesopotamia, astronomía y astrología se entreveraban en multitud de relaciones, hasta confundir sus objetivos y sus contenidos fundamentales.

Reconocía Platón que los movimientos periódicos de las estrellas y el sol causaron la invención del número y nos facilitaron la noción del tiempo y el estudio de la naturaleza del mundo. La extracción de significado a partir de la estructura de los números se remonta a Pitágoras (*ca*. 560-500 a.C.). Las matemáticas han sido siempre la fuente principal de nuestra creencia en verdades absolutas y eternas, así como en un mundo inteligible suprasensible. Pitágoras se imaginaba a Dios como el gran matemático. Un pensamiento que no sólo dotó de sentido a la numerología sino que fue central en el pensamiento de Galileo, Kepler y otros fundadores de la ciencia moderna. El concepto básico de la numerología es que los nombres personales encarnan el alma y el destino, lo que se revela a través de la traducción de tales nombres en números preñados de significado. Eso indica que los nombres dados no son nunca arbitrariamente escogidos.

Aristóteles otorgaba a los astros naturaleza divina. Estaban compuestos de éter, o quintaesencia, un elemento incorruptible e increado. Por eso las estrellas duran por siempre y los círculos que dibujan representan esa eternidad: carecen de principio y fin. Tras Aristóteles, transcurrirían varios cientos de años antes de que la astronomía griega alcanzara su pleno desarrollo con Claudio Ptolomeo, que vivía en Alejandría. El Sol influía en los acontecimientos de la Tierra. Pero otros planetas incidían también. Marte, por ejemplo, radiaba calor y sequedad debido a su proximidad con el Sol y su color rojo, que nos habla de fuego. La Luna, por el contrario, excitaba vapores húmedos en la Tierra y, por tanto, movía a la relajación y la podredumbre. Puesto que el calor y la humedad promueven el desarrollo, los planetas que exudaban estas cualidades resultaban altamente beneficiosos, mientras que se consideraban maléficos el frío y la sequedad, porque comportaban la degradación. Además, la Luna y Venus, debido a su naturaleza húmeda, eran considerados planetas femeninos, mientras que Marte, Júpiter y Saturno eran considerados masculinos, aun cuando Júpiter exudaba humedad que producía un rocío fertilizante al alcanzar la Tierra. Puesto que Mercurio radiaba alternativamente humedad y sequedad en medidas iguales, fluctuaba entre géneros. Las estrellas cambiaban también de género en razón de si precedían al Sol cuando salía por la mañana o le seguían tras su ocaso.

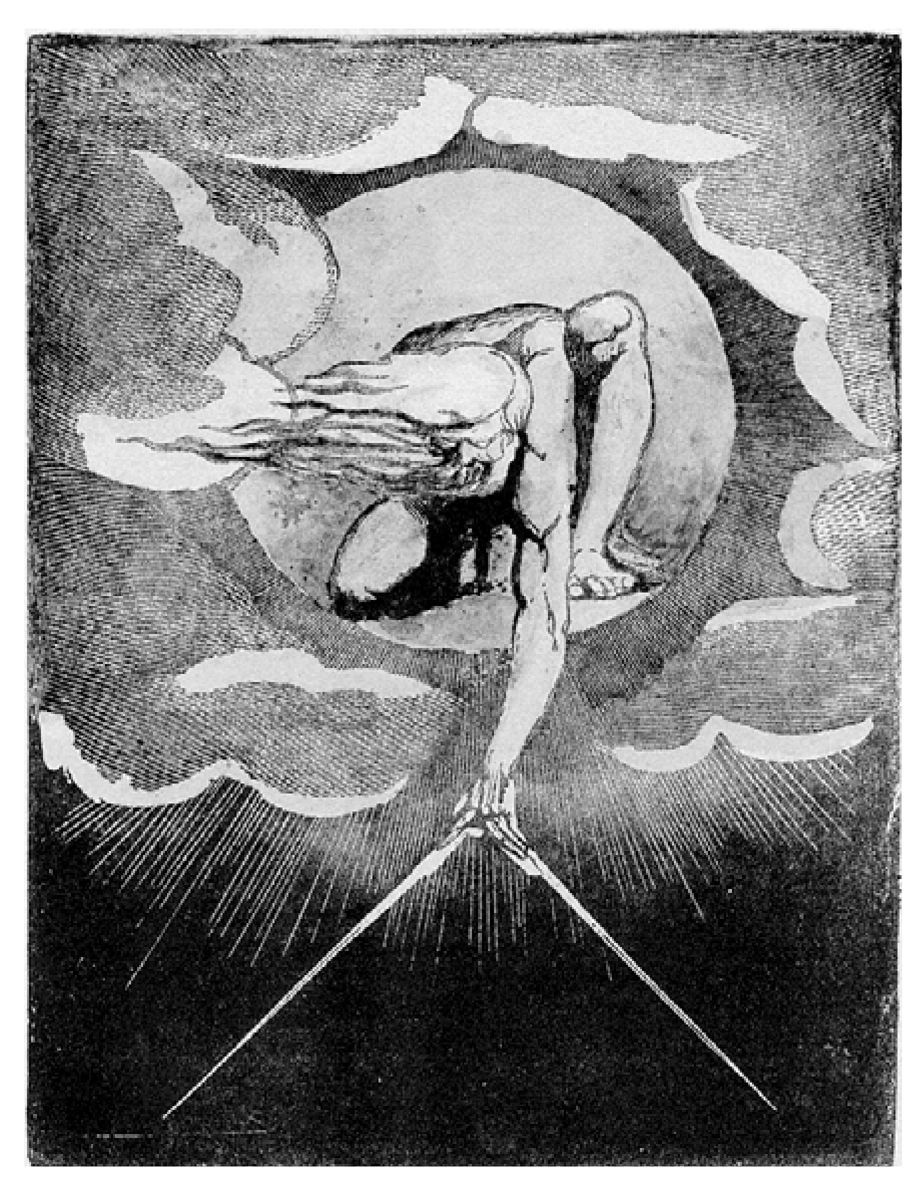
Una idea que contribuyó a la duración de la astrología fue la de armonía cósmica. En su marco, el hombre se hallaba integrado en la totalidad del universo, donde se entretejía una red de interrelaciones (simpatías, tendencias e inclinaciones), concordes con una creencia en que la astrología informaba y estructuraba el cosmos. Emergió así el principio de microcosmo-macrocosmo. El hombre remedaba en miniatura el universo entero. Las partes del cuerpo se correspondían con los planetas o con las constelaciones del zodíaco. Se creía, por ejemplo, que Virgo gobernaba los intestinos.

Parece apropiado cuestionarse sobre el origen de la diversidad de adivinos, astrólogos, magos y brujas en un tiempo en el que la irrupción en Occidente de la ciencia árabe y de un aluvión de textos griegos y hebreos realzó el relieve de la astrología, la adivinación y la magia (*Entre Science et Nigromance. Astrologie, divination et magie dans l'Occident médieval*). La ola de traducciones arabolatinas y grecolatinas, de las que una fracción importante correspondía a esas materias, transformó la concepción de la naturaleza y de la ciencia de la Europa medieval.

En la alta Edad Media la astrología lunar apenas divergía de la adivinación, fustigada por los Padres de la Iglesia hasta Isidoro de Sevilla. Isidoro distinguía dos tipos de adivinación: *ars* y *furor*. La primera era la adivinación artificiosa, que recoge los signos que ella somete a interpretación; la segunda (*furor*) es la adivinación "natural" o inspirada que los dioses dispensan a los hombres en los estados de frenesí o en ciertos sueños. Según la concepción isidoriana, adivinación y magia están íntimamente ligadas. Y toda magia era maléfica: los magos son denominados hacedores del mal (*malefici*), porque son criminales que perturban los elementos, alteran el espíritu de los hombres y provocan su muerte sin necesidad de acudir al veneno, sino por la única fuerza de sus encantamientos. Desde la antigüedad tardía, el objetivo de los grandes magos era convertirse en todopoderosos, suplantar inclusive a Dios. En la Edad Media, la magia era considerada una técnica práctica, porque su fin era la realización de algo, no su mera descripción o intelección. El mago ocultista vivía en un mundo de fuerzas, casi siempre supuestas espirituales o sobrenaturales, que creía él podía domeñar o controlar a través de ciertos rituales de ensalmos y encantamientos.

Entre los adeptos a las artes adivinatorias estigmatizados por Isidoro figuraban los astrólogos, clasificados por él en diferentes categorías: *astro-*

Horóscopo del nacimiento, en 1418, de Jean de la Goutte.



Dios arquitecto, de William Blake.

logi, *genethliaci* o *mathematici, horoscopi*. La astrología propiamente dicha se asimilaba a una forma de adivinación augural y reputada supersticiosa, mientras que era ponderada y alentada la astronomía, considerada la parte "natural" de la astrología: "la astrología, decía, es en parte natural y en parte supersticiosa".

Las traducciones de los siglos XII y XIII contribuyeron a la promoción, entre los clérigos y en determinados círculos áulicos, de un saber astrológico elaborado, una de las motivaciones esenciales de los estudios astronómicos. Gundisalvus y Daniel de Morey se refieren verbatim a la nigromancia, en el siglo XII. En el XIII, Guillaume d'Auvergne contrapone la "magia natural", que él considera ciencia, a la magia demoníaca, la de quienes invocan al diablo. Michael Scot, en su *Liber introductorius*, una suma astronómico-astrológica, distingue, a su vez, tres tipos de magos: ilusionista, el hacedor de maleficios y el sabio en artes de la naturaleza. No debemos confundir ese libro con el escrito por Guido Bonatti, hacia finales de ese mismo siglo, el *Liber introductorius ad judicia stellarum*, obra magna de la astrología medieval.

El medieval distinguía tres categorías de fenómenos: natural, preternatural y sobrenatural. Los primeros ocurrían en condiciones de normalidad; los cuerpos pesados caían, no podía verse en plena obscuridad o todas las mañanas amanecía por Oriente. Los fenómenos sobrenaturales son los que requerían la intervención directa de Dios; los preternaturales suponían una ruptura con los procesos normales, verbigracia, la levitación de una mesa o los monstruos como una vaca de dos cabezas.

La astrología se fundó sobre una idea-eje: "Lo mismo arriba que abajo". Es decir, todo lo que sucede en los reinos del universo por encima de nosotros —movimientos de las estrellas y los planetas— tiene su reflejo en los acontecimientos terrestres. La astrología se fundó sobre esa idea: lo que acontece en los cielos estrellados repercute e influye en los acontecimientos terrestres. Si existe una conjunción de dos planetas en el cielo, existe entonces una conjunción de dos poderes aquí en la Tierra. Hubo así quienes creyeron que la conjunción del planeta "saludable" Júpiter con los planetas malignos y letales de Marte y Saturno en 1345, trajo la Peste Negra a Europa, que empezó en 1348.

La fórmula "lo mismo arriba que abajo, lo mismo abajo que arriba", establece una conexión microcósmica-macrocósmica: el mini-universo que es el cuerpo de cada sujeto recapitula el universo entero. No resulta, pues, sorprendente que se diga que las estrellas influyen en el comportamiento de uno; a medida que se mueven en el macrocosmos, se mueven en el microcosmos del cuerpo de cada uno. En la mente del mago, y de muchos pensadores antiguos como Aristóteles, un universo con el que no tengamos ningún parentesco quedaría fuera del alcance de sus habitantes. La mente debe resonar con el mundo y la resonancia implica semejanza, tal vez unidad. Con todo, la omnisciencia no es el fin último del mago. El conocimiento es útil porque facilita el ejercicio del poder, y el mago aspira a subordinar el universo a su voluntad. Si la omnisciencia nos exalta hasta dimensiones cósmicas, entonces podremos ser capaces de manipular fuerzas y objetos del cosmos.

La posibilidad de semejante manipulación se expresa no sólo a través de la creencia de un macrocosmo y microcosmo, sino también de "la gran cadena de los seres", una visión del mundo que en Occidente perduró a lo largo de centurias. La naturaleza abarcaba un *continuum*, desde los seres inertes más elementales hasta el Ser supremo (Dios) con todos los grados intermedios; de manera pormenorizada: Dios, el mundo de los seres espirituales, humanos, bestias, zoófitos, plantas, metales y rocas. La humanidad se coloca en el centro del universo. Las personas están ligadas con Dios y con los cielos, igual que lo están con la tierra y con sus criaturas.

La magia vinculada a la ciencia dice apoyarse en fuerzas ocultas de la naturaleza —ínsitas en los astros, hierbas, piedras preciosas, etcétera— e interviene incluso en la creación del mito del hombre universal, del que Pico de la Mirándola representa, en las postrimerías del siglo XV, uno de los arquetipos. Los humanistas del Renacimiento se esforzaron por situar la humanidad en el centro del universo —no sólo cosmográficamente sino también autoritativamente— y la magia se acomodó a esa idea como anillo al dedo. En esa atmósfera hay que entender la extraordinaria difusión y fama de que gozó en Italia desde mediados del siglo XV Hermes Trismegisto.

Se creía que Hermes "tres veces grande" era un sabio y mago del antiguo Egipto, más joven que Moisés pero anterior a Platón. Del primero Hermes habría asumido la sabiduría revelada, del segundo su pensamiento filosófico. El esoterismo de Trismegisto se mueve entre la Cábala y la alquimia. Central para la Cábala son los nombres secretos de Dios, que son los nombres más poderosos del universo. De acuerdo con algunos cabalistas, la mera pronunciación de uno de tales nombres puso en movimiento la creación del universo. Proyectado hacia el vacío, lo mismo que una piedra lanzada a un estanque, el nombre inició una serie ondulatoria de acontecimientos que todavía reverbera. Los alquimistas buscaban convertir plomo en oro, pero sostenían que tal transformación sólo se daría si se daba al propio tiempo la transformación del alma. En otras palabras, la conversión de plomo en oro constituía un reflejo de la purificación espiritual. Los alquimistas del Renacimiento buscaban también el poder como los magos, la inmortalidad y el conocimiento. Los alquimistas valoraban el oro por razones que todavía admitimos: brillo, ductilidad y resistencia a la corrosión.

Ahora bien, los alquimistas no veían la transmutación de plomo en oro como un proceso artificioso, mecánico o ingenieril. El cambio debía operarse de una manera natural, no violenta ni forzada. Un tronco de madera lanzado al fuego se vuelve humo y cenizas, una planta sembrada se convierte en árbol, lo mismo que el tronco se convierte en ceniza cuando lo echamos al fuego. Durante la Edad Media y el Renacimiento, los alquimistas asumían otra tradición que arrancaba de los griegos. Se suponía que todos los metales constaban de azufre, mercurio y sal, en el bien entendido de que se trataba de sustancias ideales, pues compendiaban principios o estados del ser. El azufre entrañaba el principio activo de la combustión; el mercurio tipificaba el principio líquido, pasivo, en razón de su fluidez y vulnerabilidad ante la fuerza externa de presión; la sal, por último, siendo relativamente estable, ejemplificaba el principio inerte y sólido. Puesto que todo constaba de los mismos tres (o cuatro) elementos, síguese que el oro podía ser producido una vez se alcanzaba el equilibrio requerido de elementos o principios.

El cambio mágico, aunque natural, se producía con la piedra filosofal. ¿En qué consistía? La expresión en un contexto alquimista era la sustancia dotada de poder para llevar a la perfección o a la completa maduración la materia física. No se trataba en realidad de ninguna piedra o roca. Algunos la describen como un polvo rojizo, mientras que otros hablaban de un "agua permanente o penetrante". Para unos terceros indicaba la medicina o el alimento de inmortalidad. La piedra filosofal no era oro de suyo, sino algo parecido al dedo de Dios, que podía sanar, purificar y perfeccionar cuanto tocaba. Cuando entraba en contacto con un metal inferior, convertía el metal en oro, un cambio emblemático de la transformación de la naturaleza. Lo mismo que un poco de levadura puede dar volumen a toda una hogaza de pan, una pizca de piedra filosofal (unos granos de polvo rojo) podría perfeccionar y madurar todo cuanto sea inferior y subdesarrollado. Volver los metales en oro constituía sólo el comienzo. Alcanzado ese nivel, el alquimista podría ya liberarse de las ataduras humanas y revestirse de características divinas: viajar con su cuerpo astral y sin restricciones, sin las limitaciones de la carne y la sangre. Con esas posibilidades *in mente*, algunos alquimistas identificaron la piedra filosofal con el elixir de la vida, la "fontana de la juventud, salud e inmortalidad". Paracelso declaraba que viviría por siempre, creyendo que había producido y bebido el elixir de la vida. (Murió a los cincuenta años.)

Antes de la revolución científica, se reconocían virtudes ocultas en la naturaleza; así la fuerza de la gravedad, una fuerza que Galileo despojó de todo carácter astrológico, una vez que Kepler había ya atribuido a la Luna y el Sol el fenómeno de las mareas. Al responder a sus críticos, Newton aseguraba que él apelaba a fuerzas de la naturaleza, no siendo su intención introducir cualidades ocultas. Pero la astrología tardaría mucho tiempo todavía en desaparecer.

Simon Forman (1552-1611) es uno de los astrólogos de peor fama de Londres. Vivió a extramuros de la élite médica, pues carecía de la formación académica que le capacitara para un ejercicio que desarrolló con notable éxito, por otra parte. De hecho, defendía con vehemencia ideas médicas que eran antitéticas a las mantenidas por los médicos universitarios. En las principales capitales europeas del Renacimiento, médicos que habían pasado por las aulas diagnosticaban y prescribían la terapia; correspondía a los cirujanos realizar las operaciones y sangrías; los apotecarios preparaban las medicinas de acuerdo con las prescripciones de los médicos. El arte de la medicina se enseñaba en las universidades, mientras que cirujanos y apotecarios aprendían en casa de otros practicantes (*Medicine and Magic in Elizabethan London. Simon Forman. Astrologer, Alchemist, and Physician* y *The Practice of Reform in Health, Medicine, and Science, 1500-2000*).

Forman sobrevivió a la peste, fue consultado en múltiples ocasiones sobre cuestiones clínicas, practicó la alquimia, persiguió con afán la piedra filosofal en los experimentos y en los textos antiguos. Escribió retazos de autobiografía y vindicó su habilidad en miles de páginas de notas y tratados. En total, nos legó unas 15.000 páginas que terminaron, andando el tiempo, en manos del famoso anticuario Elias Ashmole. Constituye uno de los más completos archivos de información sobre medicina, astronomía, alquimia y magia de la Inglaterra moderna. En su labor ocupaba un puesto notable la aplicación de sellos mágicos, que fabricaba y vendía. La confección de uno de tales sellos consistía en estampar los poderes de las estrellas en un trozo de metal, creando así un objeto a la vez natural y artificial. En su magia astral no podían faltar, amén de los sellos, las láminas y los anillos que domeñaban las fuerzas del universo. No menos estrafalario era su mundo alquímico de homúnculos, mandrágoras, venenos, serpientes, renacuajos, arañas, etcétera.

—*Luis Alonso*

Acabar con la trampa de la pobreza

Con inversiones específicas podremos superar las desventajas geográficas

Jeffrey D. Sachs

Las regiones más desposeídas de la Tierra —la mayor parte en Africa, Asia Central y los Andes— no son sólo pobres: parecen estar atrapadas en la pobreza y condenadas a la violencia interna y el colapso político. La distribución geográfica de estas trampas de pobreza no es aleatoria. Ninguna de estas regiones se halla en Norteamérica ni en Europa. En Asia solamente se encuentran algunas de ellas. La mayor parte del Africa tropical ha caído en una trampa de pobreza, o apenas está empezando a salir de ella, pero el norte y el sur del continente no comparten esta situación. ¿Qué enseñanza extraer de semejante patrón geográfico?

Como se apuntaba en artículos anteriores, el problema principal de la mayoría de las regiones pobres es la baja productividad alimentaria, que generalmente tiene sus orígenes en su dependencia de unas precipitaciones irregulares —y no del riego—, de unos suelos agotados y fácilmente erosionables, y a menudo de unas terrazas montañosas, abruptas, degradadas.

El segundo problema estriba en el lastre de las enfermedades. Las áreas tropicales, especialmente las africanas, son un nidal de afecciones debilitantes y letales que en las zonas templadas no existen o son fáciles de controlar. La malnutrición agrava también la carga de las enfermedades.

El tercer obstáculo es el aislamiento físico. Muchos estados pobres no tienen salida al mar, ni acceso al comercio marítimo. E incluso países con puertos no pueden afrontar los graves problemas de transporte debido al terreno montañoso, a la ingente población que vive en el interior y a su ubicación alejada de las rutas del comercio mundial.

Estos problemas, cuyos orígenes se encuentran en su situación geográfica, son trampas para la pobreza. La falta de alimentos deriva en malnutrición, en enfermedades, en violencia inducida por el hambre y en ingresos líquidos bajos o nulos para las familias campesinas, que viven estancadas, sin medios ni solvencia para invertir en mejores recursos agrícolas. Puede que los pobres tengan que explotar su entorno de forma insostenible, agotando el terreno, la caza y la pesca, talando el bosque. El cambio climático les está afectando cada vez más.

Las consecuencias políticas son igualmente atroces. El politólogo Colin H. Kahl, de la Universidad de Minnesota, describe, en su libro *States, Scarcity, and Civil Strife in the Developing World* (Estados, escasez y disputas civiles en el mundo en desarrollo, Princeton University Press, 2006), dos vías principales por las que la extrema pobreza aumenta las posibilidades de que se produzca un conflicto violento y el estado se hunda en la anarquía. Primero, cuando la pobreza es tan grave que la población llega a la desesperación y el gobierno es incapaz de responder, pueden crearse grupos de "autoayuda" que luchen contra otros grupos por los recursos disponibles. Somalia ha vivido esa situación en los últimos 20 años. La alternativa, si es que el gobierno toma partido, es que utilice el aparato del estado, e incluso la violencia, en favor de un grupo y en contra de otro. Así ocurrió en el genocidio ruandés.

Africa está preparada para dar el gran salto a una revolución verde

Los factores geográficos no cambian fácilmente. Aun así, programas con inversiones específicas provenientes de fuentes externas pueden acabar con las trampas de la pobreza a un coste muy bajo. Empiécese por destinar las inversiones a incrementar la seguridad alimentaria y la productividad agrícola; dótese a los campesinos para que accedan a abonos, semillas mejoradas, técnicas de gestión del agua a pequeña escala y métodos ganaderos avanzados. De ahí puede resultar un rápido aumento de la producción de alimentos y de los ingresos de las explotaciones agrarias, lo que comúnmente se denomina una revolución verde. Africa está preparada para este gran salto, si los donantes lo apoyan.

Las enfermedades tropicales, especialmente la malaria, las infecciones provocadas por gusanos y muchas otras que se transmiten a través del agua o de los insectos, se pueden prevenir fácilmente y a menudo son completamente tratables. Lo que se necesita es una cadena de suministro de artículos primordiales, la construcción y disponibilidad de unidades de salud primaria en las áreas rurales, y personal sanitario local cualificado. Los resultados pueden ser espectaculares, con una fuerte caída de la mortalidad infantil y un rápido aumento de la planificación familiar, en sólo unos meses.

Las inversiones en infraestructura pueden acabar con el aislamiento económico. Entre las mejoras de este tipo se cuentan las carreteras, tendidos eléctricos que lleguen a las áreas rurales, una cobertura más amplia de los teléfonos móviles e incluso servicios de Internet de banda ancha a través de cables de fibra óptica o conexiones por satélite. La conexión de las otrora remotas aldeas con mercados regionales o mundiales aumentará sus ingresos, ya que podrán vender productos del campo, procesados y servicios.

El Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia, en colaboración con las Naciones Unidas y la organización no gubernamental Millennium Promise, están poniendo en marcha inversiones específicas en Africa, Asia e Iberoamérica. Los primeros resultados son muy prometedores (como puede verse en www.millenniumvillages.com). Los gobiernos de Africa, entre ellos algunos de antiguas zonas en guerra, están solicitando estos proyectos. El Banco Mundial y otros donantes harían bien respondiendo favorablemente, porque este tipo de inversiones es la mejor esperanza para la paz, la seguridad y la prosperidad a largo plazo de las regiones pobres.

Jeffrey D. Sachs es director del Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia.

EN EL PROXIMO NUMERO DE DICIEMBRE 2007



El futuro de la exploración espacial,

por Steven Ashley y George Musser

Hace medio siglo el lanzamiento del satélite soviético Sputnik inauguró la Era Espacial. ¿Qué vino después?



Así surge la conciencia,

por Christof Koch y Susan Greenfield

Dos esclarecidos neurocientíficos contrastan sus teorías sobre uno de los mayores misterios de la ciencia: el modo en que la actividad cerebral hace surgir la experiencia subjetiva.



Navegación animal,

por María Luisa Fanjul de Moles y Aldi de Oyarzábal

Mediante un reloj biológico endógeno y la información sensorial procedente del eje terrestre, el sol y las estrellas, el cerebro construye mapas cognitivos que guían el desplazamiento estacional de las especies migradoras.

Los batolitos de Sonora,

por Martín Valencia Moreno

La composición química e isotópica de los batolitos graníticos de Sonora arroja luz sobre la naturaleza y la configuración del basamento del suroeste de Norteamérica.

La edad de diamante de la espintrónica,

por David D. Awschalom, Ryan Epstein y Ronald Hanson

Dispositivos electrónicos cuánticos que controlan el espín de los electrones podrían un día aplicarse a la construcción de computadores cuánticos a temperatura ambiente.

